

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения  
**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Изучение физико-химических и биологических свойств наночастиц оксида железа</b>
УДК 661.87-022.532

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ82	Сапар Нурила Оразаликызы		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Годымчук А.Ю.	к.т.н.		

#### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент отделения социально - гуманитарных наук	Спицына Л.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент отделения общетехнических дисциплин	Романцов И.И.	к.т.н.		

Приложение 2 «Раздел на английском языке»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения иностранных языков	Ажель Ю. П.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Директор НОИЦ «Наноматериалы и нанотехнологии»	Хасанов О.Л.	профессор, д.т.н.		

Томск – 2020 г.

*Планируемые результаты обучения по ООП 22.04.01*

Код результата	Результат обучения
P1	Осуществлять сбор, анализ и обобщение научно-технической информации в области материаловедения и технологии материалов с использованием современных информационно-коммуникационных технологий, глобальных информационных ресурсов
P2	Работать с патентным законодательством и авторским правом при подготовке документов к патентованию и оформлению ноу-хау
P3	Выполнять маркетинговые исследования и анализировать технологический процесс как объекта управления, разрабатывать технико-экономическое обоснование инновационных решений в профессиональной деятельности
P4	Руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
P5	Внедрять в производство технологии получения керамических, металлических материалов и изделий, в том числе наноматериалов, быть готовым к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов, позволяющих получать и диагностировать материалы и изделия различного назначения.
P6	Разрабатывать новые и модернизировать существующие технологии получения керамических, металлических материалов и изделий, в том числе наноматериалов
P7	Внедрять системы управления качеством продукции в области материаловедения, эксплуатировать оборудование, позволяющее диагностировать материалы и изделия из них, в том числе наноматериалы
P8	Действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения, выбирать наиболее рациональные способы защиты и порядка в действиях малого коллектива в чрезвычайных ситуациях
P9	Общаться в устной и письменной формах на государственном языке РФ и иностранном языке для решения задач профессиональной деятельности, подготавливать и представлять презентации планов и результатов собственной и командной деятельности, формировать и отстаивать собственные суждения и научные позиции
P10	Самостоятельно осваивать новые методы исследования, изменять научный, научно-педагогический и производственный профиль своей профессиональной деятельности
P11	Применять принципы рационального использования природных ресурсов, основные положения и методы социальные, гуманитарные и экономические подходы при решении профессиональных задач с учетом последствий для общества, экономики и экологии.
P12	Использовать основные категории и понятия общего и производственного менеджмента в профессиональной деятельности



<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1) провести литературный обзор, включающий получение, применение, биологические и физико-химические свойства наночастиц оксида железа;  2) определить фазовый состав, морфологию и размер нанопорошков оксида железа с помощью рентгенофазового анализа, электронной микроскопии и метода низкотемпературной адсорбции азота;  3) определить дисперсионные свойства наночастиц оксида железа методом динамического рассеяния света;  4) определить влияние размера и концентрации наночастиц оксида железа, а также ультразвуковой обработки на морфометрические свойства проростков пшеницы.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Изображения частиц и агрегатов, полученные с помощью электронной микроскопии, рентгенограммы, кривые распределения частиц по размерам, зависимости, описывающие влияние размера и концентрации наночастиц оксида железа и ультразвуковой обработки на коллоидные свойства наночастиц в дисперсионной среде и на всхожесть семян и на корневой индекс проростков пшеницы.</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>  <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоемкость</p>	<p>Спицына Л.Ю.</p>
<p>5. Социальная ответственность</p>	<p>Романцов И.И.</p>
<p>Приложение II. Раздел на английском языке</p>	<p>Ажель Ю.П.</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p><b>Разделы на русском языке:</b> Литературный обзор, экспериментальная часть, результаты и их обсуждение, финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, социальная ответственность</p>	
<p><b>Раздел на иностранном языке:</b> Literary review</p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>24.02.2020</p>
--	-------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Годымчук А.Ю.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ82	Сапар Н.О.		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов  
 Уровень образования магистр  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения  
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2019 /2020 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
30.01.2020	1. Литературный обзор	20
30.03.2020	2. Экспериментальная часть	20
30.04.2020	3. Обсуждение результатов и оформление работы	30
28.05.2020	4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоемкость	10
02.03.2020	5. Социальная ответственность	10
26.05.2020	6. Обязательное приложение на иностранном языке	10

#### СОСТАВИЛ:

##### Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Годымчук А.Ю.	к.т.н.		

#### СОГЛАСОВАНО:

##### Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Директор НОИЦ «Наноматериалы и нанотехнологии»	Хасанов О.Л.	профессор, д.т.н.		

## РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация написана на 149 страницах и включает 18 рисунков, 29 таблиц, 241 источник и 2 приложения.

**Ключевые слова:** наночастицы гематита, водные суспензии, распределение частиц по размерам, пшеница, морфометрические свойства проростков пшеницы.

**Объектом исследования:** наночастицы оксида железа с размерами от 18 до 600 нм.

**Целью работы** является определение влияния концентрации и размера наночастица оксида железа на морфометрические свойства проростков пшеницы.

**Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики.** В работе получены закономерности изменения морфометрических параметров (длина корня, всхожесть и корневой индекс) проростков пшеницы сорта «Ирень» в зависимости от ультразвуковой обработки и концентрации и размера наночастица оксида железа, добавленных в среду прорастания семян. Также показано изменение дисперсионных свойств частиц в водных суспензиях.

**Степень внедрения:** приготовлены суспензии наночастиц оксида железа, стимулирующие или подавляющие прорастания семян и развитие растения на ранней стадии при разных концентрациях наночастиц. Результаты используются в рамках выполнения инициативного проекта «Оценка влияния промышленных нанопорошков оксида железа на морфометрические параметры и всхожесть высших растений», выполняемой между сотрудниками ТПУ и ТГУ имени Г.Р. Державина.

**Область применения:** результаты могут использоваться для разработки рекомендаций по применению наночастиц оксида железа для стимулирования морфометрических параметров семян в сельском хозяйстве.

**Экономическая эффективность/значимость работы:** стимулирование развития корневой системы пшеницы на ранней стадии развития высших растений при использовании водных суспензий наночастиц оксида железа с размерами от 18 до 600 нм.

**В будущем планируется** совместно с токсикологами установить зависимости между размером, степенью растворения и токсичностью порошков оксида железа разного размера.

**Используемые в работе сокращения:**

ПЭМ – просвечивающая электронная микроскопия

СЭМ – сканирующей электронной микроскопии

БЭТ – метод Брунауэра-Эммета-Теллера

L – длина корня проростка

G – всхожесть семян

RI – корневой индекс

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-18 – наночастицы гематита со средним размером 18 нм

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-38 – наночастицы гематита со средним размером 38 нм

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-80 – наночастицы гематита со средним размером 80 нм

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-600 – наночастицы гематита со средним размером 600 нм

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	11
ГЛАВА 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....	12
1.1 Наночастицы .....	13
1.1.1 Определение и классификация наночастиц .....	13
1.1.2 Классификация наночастиц оксида железа .....	14
1.1.3 Получение наночастиц оксида железа .....	15
1.1.4 Применение наночастиц оксида железа .....	19
1.2 Биологические и физико-химические свойства наночастиц оксида железа .....	22
1.2.1 Стимулирующие биологические свойства .....	22
1.2.2 Токсичные свойства наночастиц .....	25
1.2.3 Агрегация и растворение наночастиц .....	26
1.3 Постановка цели и задач исследования .....	28
ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ .....	30
2.1 Объекты исследования .....	30
2.1.1 Наночастицы оксида железа .....	30
2.1.2 Семена пшеницы .....	30
2.2 Методы исследования нанопорошков .....	31
2.2.1 Рентгенофазовый анализ .....	31
2.2.2 Электронная микроскопия .....	31
2.2.3 Низкотемпературная адсорбция азота .....	32
2.3 Исследование физико-химических и биологических свойств наночастиц .....	32
2.3.1 Приготовление суспензий и растворов .....	33
2.3.2 Дисперсионный анализ наночастиц в суспензии .....	34
2.3.3 Определение морфометрических параметров проростков .....	34
ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ .....	37
3.1 Состав и морфология наночастиц .....	37
3.1.1 Характеристика объектов исследования .....	37



3.1.2 Дисперсионные свойства частиц в суспензии .....	39
3.2 Биологические свойства наночастиц.....	40
3.2.1 Влияние концентрации наночастиц на морфологию проростка .....	40
3.2.2 Влияние концентрации наночастиц на адаптационные свойства растений.....	42
3.2.3 Влияние УЗ обработки суспензий на морфометрические свойства проростков .....	43
3.2.4 Влияние размера наночастиц на морфологию проростка.....	44
3.2.5 Влияние формы оксида железа на их биологические свойства .....	45
3.3 Выводы.....	45
ГЛАВА 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....	49
4.1 Предпроектный анализ.....	49
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	49
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. ....	51
4.1.3 SWOT-анализ.....	53
4.1.4 Оценка степени готовности проекта к коммерциализации.....	56
4.1.5 Методы коммерциализации результатов исследования .....	58
4.2 Инициация проекта .....	58
4.2.1 Цель и результаты проекта.....	59
4.2.2 Организационная структура проекта.....	60
4.3 Планирование управления научно - исследовательским проектом .....	61
4.3.1 Иерархическая структура и планирование работ проекта.....	61
4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	65
4.3.3 Бюджет научного исследования .....	67
Материальные затраты, сырье, покупные изделия (за вычетом отходов) .....	67
4.3.4 Расчет общей себестоимости разработки .....	75

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	76
4.5 Выводы по разделу .....	78
ГЛАВА 5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	82
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	83
5.2 Производственная безопасность .....	84
5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	86
5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных факторов на исследователя.....	93
5.3 Экологическая безопасность .....	95
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	98
5.5 Выводы по разделу .....	99
6 СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ .....	101
7 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	102
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. МИКРОФОТОГРАФИИ ОБРАЗЦОВ .....	132
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. РАЗДЕЛ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ .....	134

## ВВЕДЕНИЕ

Интенсивно развивающееся производство и применение наночастиц создает условия для выделения наночастиц в окружающую среду [1]. Малый размер, развитая поверхность и высокая реакционная способность делают наночастицы потенциально опасными для живых организмов и растений, пока не доказано обратное [2]. Поэтому определение экотоксичности наноматериалов является одной из важных задач современного материаловедения, химии, биологии и медицины.

В литературе имеются данные о больших перспективах внедрения наночастиц оксида железа в практику [3], при этом все больше информации об их стимулирующих и токсических свойствах. В силу того, что токсичность зависит от большого ряда факторов (размер, состав поверхности, форма, концентрация и т.д.), опубликованных данных в настоящее время крайне недостаточно, чтобы классифицировать наночастицы оксида железа как опасные или безопасные материалы. Одним из наиболее распространённых подходов, позволяющих оценить специфичность воздействия наночастиц и дозозависимые эффекты, является определение фитотоксичности.

**Целью выпускной квалификационной работы** является определение влияния концентрации и размера наночастиц оксида железа на морфометрические свойства проростков пшеницы.

## ГЛАВА 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Нanomатериалы относятся к коллоидной системе частиц с размерами от 10 до 1000 нм, обладающей уникальными свойствами, такими как зависящие от размера свойства, высокое отношение поверхности к объему и многообещающие оптические свойства [4,5]. Основными категориями наноматериалов являются углеродистые [6], полупроводниковые, оксиды металлов [7,8], липиды [9], нульвалентные металлы [10], квантовые точки, нанополимеры [11] и дендимеры [12], с различными видами функций, такие как нановолокна, нанопроволоки и нанолисты.

Процесс нанотехнологий начался с генерации, манипулирования и развертывания наноматериалов, представляющих область, представляющую значительные перспективы для широкого спектра применений [13]. Нанотехнологии превратились в динамично развивающуюся отрасль с множеством применений в области энергетики, материалов, компьютерных чипов, производства, здравоохранения и медицинской диагностики [14, 15]. Продукты, полученные из нанотехнологий, известны как наноматериалы [16]. Считается, что в настоящее время на рынке доступно более 800 наноматериалов, и ожидается, что в ближайшие несколько лет их количество увеличится [17].

Нанотехнологии увеличили свои инвестиции для различных товаров от 4 до 224 миллиардов долларов за короткий период с 2005 по 2009 год, в то время как наночастицы оксида железа являются опорными элементами этой промышленности [18, 19]. Причиной этого является изобретательное использование наночастиц оксида железа во всех областях и технологиях [20]. Говорят, что оценка производства наночастиц для различных целей возрастет до 58 000 т к 2020 году, и большая часть этого будет наночастица оксида железа [21].

Эффективность объемных оксидов железа в обеспечении железом для растений увеличилось во много раз благодаря их превращению в наноразмерные

частицы (размером 1–100 нм). Таким образом, небольшие размеры наночастицы оксида железа (1–100 нм) наряду с другими жизненно важными свойствами отличают наночастица оксида железа от других наночастиц [22], и они пробиваются в развитии сельского хозяйства, а также в другие отрасли [23]. Это связано с уникальными свойствами наночастиц оксида железа, такими как квантовое удержание, высокая поверхностная энергия, увеличенное отношение площади поверхности к объему и ряд каталитических свойств [24]. Таким образом, технология наночастиц оксида железа открыла новые возможности для производства экономичных и экологически чистых удобрений. У них больше возможностей для увеличения урожайности и производства из-за повышенной эффективности использования питательных веществ за счет медленного высвобождения питательных веществ, меньшего солевого стресса для корней за счет снижения накопления растворимых солей в корневой зоне, минимизации затрат и сокращения потерь питательных веществ путем ограничения их перехода из поглощенной формы в выброшенную форму, таким образом контролируя загрязнение окружающей среды [25-27]. Также указали на полезную роль наночастица оксида железа в стимуляции некоторых ферментов, таких как каталаза, цитохромоксидаза и пероксидаза сообщили, что наночастица оксида железа играют вспомогательную роль в повышении устойчивости растений к стрессовому питанию путем предоставления к факторам, которые являются компонентами многих антиоксидантов [28].

## **1.1 Наночастицы**

### ***1.1.1 Определение и классификация наночастиц***

Нанопорошки являются разновидностью наноматериалов и представляют собой совокупность находящихся в соприкосновении индивидуальных твердых тел (наночастиц или их агрегатов) с размерами от 1 до 100 нм во всех трех измерениях [29].

Наночастицы – изолированные твердофазные объекты, имеющие отчетливо выраженную границу с окружающей средой, размеры которых во всех измерениях составляют менее 100 нм. Одной из главных причин изменения физических и химических свойств малых частиц по мере уменьшения их размеров является возрастание в них относительной доли поверхностных атомов, находящихся в иных условиях, чем атомы объемной фазы.

В зависимости от размера частицы принято разделять на мелкодисперсные и ультрадисперсные [30]. Мелкодисперсные частицы имеют размер от 100 до 2500 нм, в то время как диапазон размеров ультрадисперсных частиц лежит в пределах от 1 до 100 нм. Ультрадисперсные частицы, размер которых составляет от 1 до 100 нм, также называют наночастицами. Выбор такого размера – 100 нм в качестве пограничного обусловлен тем, что при снижении размера частиц ниже этой границы начинается существенное изменение физико-механических свойств материалов [31]. За счет увеличения поверхностной энергии таких частиц резко меняются прочностные и электромагнитные свойства материалов. Нанокластеры имеют размер по крайней мере по одному направлению от 1 до 10 нм и узкое распределение по размерам.

### ***1.1.2 Классификация наночастиц оксида железа***

Наночастицы оксида железа привлекли большое внимание благодаря своим прекрасным магнитным свойствам и применениям в современной науке. Несмотря на то, что на сегодняшний день известно 16 фаз оксидов, гидроксидов и оксигидроксидов железа в наноразмерной форме [32], наиболее распространенными являются магнетит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), гематит ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) и маггемит ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) [33].

Магнетит является черным магнитным минералом и также называется оксидом железа (II, III) или двухвалентным ферритом. Молекулярная формула  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  также может быть записана как  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ , которая состоит из вюститита ( $\text{FeO}$ ) и гематита ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Он обладает самым сильным магнетизмом среди всех

природных минералов, существующих на Земле [34]. Магнетит имеет 32 иона  $O^{2-}$  с гранецентрированной кубической спинной структурой и компактной упаковкой к центру. Имеет стехиометрию как двухвалентного, так и трехвалентного железа. Двухвалентное железо обладает способностью восстанавливать любой другой двухвалентный металл (Co, Pb, Mn, Cd) [35]. Таким образом, он имеет большой потенциал для уменьшения загрязнения в сочетании с его ролью благодетеля в росте и развитии растений. Наночастицы магнетита были синтезированы в работах [36-39].

Гематит является наиболее стабильной формой наночастиц оксида железа и имеет широкий спектр применения. Это полупроводник n-типа, который имеет очень низкую стоимость, но очень высокую устойчивость к коррозии. Поскольку гематит может использоваться в качестве инициативы для синтеза магнетита и маггемита, он имеет большое значение в научных исследованиях и технологиях [40]. Наночастицы гематита исследовали в работах [41-43].

Маггемит имеет кубическую структуру, вызванную плотной упаковкой 32  $O^{2-}$  ионов. Это полупроводник n-типа, который считается полностью окисленным магнетитом. Дифракция рентгеновских лучей показывает, что маггемит имеет кристаллическую структуру, сходную с магнетитом [44]. Более подробно о наночастицах маггемита можно почитать в работах [45-47].

### ***1.1.3 Получение наночастиц оксида железа***

В настоящее время существует физические и химические методы получения наночастиц оксида железа, выбор которых влияет на морфологию частиц [48-52]. Рассмотрим метод соосаждения, гидротермальные методы, золь-гель и электрический взрыв проводников.

Метод соосаждения является наиболее многообещающим методом из-за его простоты и производительности [53, 54]. В этом методе готовят стехиометрическую смесь солей железа в водных средах [55], и доводят смесь до pH=9...14 для полного осаждения  $Fe_3O_4$  при сохранении молярного соотношения

$\text{Fe}^{3+}:\text{Fe}^{2+}=2:1$  в неокисляющейся бескислородной среде [56].  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  не очень стабилен, и его можно окислять в  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . Для предотвращения окисления и агрегации наночастиц  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  используют азот [57, 58]. Размер, форма и состав частиц зависят от используемых солей, соотношения  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{2+}$ , pH раствора, температуры и ионной силы носителя [59].

На первом этапе в процессе соосаждения сначала образуются малые ядра. Когда концентрация частиц достигает критической, этим следует рост кристалла. На более позднем этапе растворенные вещества диффундируют к поверхности кристалла, и процесс контролируется массопереносом [60]. В перенасыщенном растворе, если зародыши образуются одновременно, частицы могут иметь очень небольшое распределение по размерам после роста кристаллов. Следовательно, процесс зарождения обычно должен быть выполнен за очень короткую продолжительность для небольшого распределения частиц по размерам. Кроме того, количество частиц определяется концом процесса нуклеации и не изменяется во время роста кристаллов.

Добавление хелатирующих органических анионов (карбоксилатных или  $\alpha$ -гидроксикарбоксилат-ионов, таких как глюконовая, лимонная или олеиновая кислота) или комплексообразующих поверхностно-активных веществ полимеров (декстран, поливиниловый спирт или крахмал) во время образования наночастиц магнетита может помочь контролировать их размер. Добавление органических ионов может ингибировать зародышеобразование или рост кристаллов в соответствии с соотношением между органическими ионами и солями железа, что означает, что они могут привести к большим или меньшим частицам.

Хотя способ соосаждения является самым простым и наиболее эффективным химическим путем для получения магнитных частиц, он имеет недостатки, такие как большое распределение частиц по размерам, агрегация и



низкая кристалличность, что приводит к низким значениям намагниченности насыщения [61].

В гидротермальном синтезе наночастиц магнетита реакции проводят в водных средах в реакторах или автоклавах при температуре более 200°C, а давление должно быть выше чем 1 379 Па [62, 63]. Две серии предшественников железа (сульфаты и хлориды) были использованы в процессе синтеза путем изменения температуры реакции при постоянном pH. Исследования методом полевой эмиссионной микроскопии высокого разрешения показали, что полученные наночастицы оксида железа с использованием сульфата железа при 130 °C, имели как сферическую (диаметр: 42–45 нм), так и стержнеобразную (длина <100 нм и диаметр ~20-25 нм) структуры. В то же время наночастиц оксида железа, синтезированные при 190°C, имеют сферическую форму с диаметром в диапазоне от 29 до 46 нм. С другой стороны, образцы готовили с хлоридами железа при 130°C и 190°C содержал только частицы сферической формы с размерами 23–32 нм и 16–32 нм соответственно [64]. В этом методе растворитель, температура и время оказывают существенное влияние на частицы [65]. Размер частиц увеличивается с увеличением времени реакции, а также, когда количество воды увеличивается. Образование частиц происходит в два этапа: зародышеобразование и рост кристаллов. При более высоких температурах процесс нуклеации происходит быстрее, чем рост кристаллов, поэтому размер частиц уменьшается. При более длительном времени реакции рост кристаллов доминирует, поэтому образуются более крупные частицы [66].

Золь-гель процесс представляет собой мокрый химический метод, и он основан на гидролизе и конденсации предшественников в коллоидном растворе золя). Агломерации или скопления коллоидных, или субколлоидных частиц ответственны за образование сети. Металлооксидная сетка (гель) образуется путем удаления растворителя или химической реакции. Коллоидный гель получают путем основного катализа, а полимерная форма геля образуется в

результате кислотного катализа [67]. Скорость гидролиза и конденсации являются очень важными параметрами в методе, и они в значительной степени влияют на свойства образующихся частиц. Более низкая и более контролируемая скорость гидролиза может давать более мелкие частицы. Размер частиц также зависит от растворителя, концентрации, pH и температуры [68].

Соли железа, такие как ацетаты, хлориды и нитраты, наряду с алкоксидами железа после различных реакций поликонденсации и гидролиза, действуют как кристаллическая затравка для производства наночастиц оксида железа [69].

Согласно исследованиям, для развития кристаллической структуры оксида железа требуется непрерывное нагревание [70]. Так, были получены [71] наностержни  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  размерами 7,5 нм. После термической обработки геля при  $400^\circ\text{C}$  были синтезированы частицы  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  с размерами от 6 до 15 нм [72]. Используя этот метод, наночастицы  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  могут быть покрыты инертной кремнеземной матрицей [73, 74].

Метод электрического взрыва проводника (ЭВП) включает взрывное разрушение металлической проволоки под действием тока большой плотности ( $10^4\text{--}10^6\text{ А/см}^2$ ) [75]. В результате смесь перегретого пара и кипящих капель взрывающегося материала проволоки и ударной волны рассеиваются в окружающей атмосфере. После охлаждения формируются, как правило, сферические частицы. Электрический взрыв проводов характеризуется следующими особенностями: время взрыва  $10^{-5}\dots 10^{-8}\text{ с}$ ; температура в момент взрыва может достигать значения более  $10^4\text{ К}$ , давление  $\sim 10^9\text{ Па}$ ; скорость спада продукта от 1 до 5 км/с. Электровзрывные нанопорошки характеризуются высокой полидисперсностью, которая зависит от всех условий взрыва [76, 77], [78]. Преимуществом ЭВП является возможность влияния на свойства частиц с помощью электрических параметров и высокая экологичность [79].

ЭВП в инертных газах или водороде используется для производства порошков металлов, сплавов и интерметаллидов [80-82], в химических активных

средах – для получения нанопорошков из химических соединений металлов: оксидов, нитридов, карбидов и др. [83]. В зависимости от типа химического состава рабочей среды в разрядной камере могут быть получены нанопорошки карбидов (в углеводородах) [84, 85], или оксидов (в кислородсодержащей среде) [86, 87].

Исследователи считают, что оксидные порошки целесообразно производить в смеси азота или аргона с кислородом, как были получены наночастицы  $ZrO_2$ ,  $Cu_2O$  и  $CuO$ ,  $\gamma-Al_2O_3$  и  $\alpha-Al_2O_3$  с размером 20 нм, с 31,3 до 23,6 нм, 11-33 нм [88-90].

#### ***1.1.4 Применение наночастиц оксида железа***

Наноразмерные порошки благодаря своим специфическим свойствам все шире используются в качестве базовых материалов для производства керамики и композитов, фильтров, смазочных добавок, для решения экологических проблем в качестве катализаторов, сорбентов и т.д.

Наночастицы оксида железа вызывают огромный интерес в силу их относительной дешевизны (по сравнению с другими наночастицами), уникальных свойств и каталитической активности [32, 91, 92], наночастицы оксида железа используются в широком спектре биомедицинских и биоинженерных приложений [93, 94], включая датчики [95], магнитное хранение терабитов, перенос лекарств и генов в клетки [96-99], магнитную гипертермию [100, 101], для маркировки клеток и макромолекул [102-104], противовирусные препараты [105], лечение рака [106] и магнитно-резонансную томографию [107-109], для приготовления полупроводников [110]. Растущее использование нанопорошков из оксида железа для биомедицинских, биоинженерных и экологических применений неизбежно приведет к их дальнейшему высвобождению и увеличению присутствия в наземных и водных экосистемах с потенциальным риском для здоровья людей и дикой природы. Таким образом,

исследования, направленные на понимание экологической опасности наночастиц оксида железа в природных экосистемах, крайне необходимы.

Наночастиц оксида железа использовались в биомедицинской области, адресной доставке лекарств и диагностике в основном из-за их физико-химических свойств. Несмотря на то, что они считаются в целом безопасными, обладая хорошей биосовместимостью, низкой или отсутствующей токсичностью, о чем сообщалось во многих исследованиях [111]-113], их потенциальные токсические эффекты не должны пренебречь.

Наночастиц оксида железа широко исследовались для магнитно-резонансной томографии (МРТ), ангиографии, лимфографии, обнаружения опухоли и инфаркта как это было показано на примере  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , либо  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  с размером 6-15 нм [114].

Нанопорошок из оксида железа также используются для экологических применений, например, при рекультивации почв, очистке грунтовых и сточных вод [115, 116], удалении тяжелых металлов и деградации органических компонентов из воды [117-120], фотокаталитических процессах и биосенсорах [121-125].

Спроектированный наночастица оксида железа станет новым инструментом для очистки загрязненных вод и почв [126]. По сравнению с обычными макромасштабными материалами наноматериалы обладают высоким отношением поверхности к объему и высокой реакционной способностью. Таким образом, их коллоидный размер может придавать им высокую подвижность в пористых средах, а их свойства позволяют им быть особенно подходящими для обработки загрязненных почв или водоносных горизонтов. Если в настоящее время проекты по восстановлению, использующие нанопорошок из оксида железа, ориентированы на загрязнение местного масштаба, иницируется масштабное изменение для предотвращения диффузного загрязнения. Кроме того, их использование в наноагрохимии может

быть разработано в ближайшие годы и будет представлять собой преднамеренный диффузный источник наночастиц оксида железа в окружающей среде [127]. Широкое использование нанопорошков из оксида железа для восстановления на месте или в сельском хозяйстве также поднимает вопрос об их экологической совместимости.

Среди инженерных наночастиц оксида железа, представляющих интерес для окружающей среды, из-за их биосовместимости и безопасности для жизни организмы [128-130].

Наночастицы оксида железа используются для изготовления анода для литий-ионных батарей и могут обеспечить высокие теоретические удельные емкости - 1007 и 926 мАч/г, соответственно, для наночастицы гематита и магнетита [131], наночастицы оксида железа в углеродной матрице могут дополнительно увеличить электрохимические свойства электродов [132-134].

Разными авторами показана эффективность применения наночастиц оксида железа для извлечения тяжелых металлов из водных сред при очистке воды и окружающей среды [135, 136]. Так, у наночастицы  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  с размером 15 нм, покрытых полиэтиленгликолем, адсорбционная емкость по отношению к ионам  $\text{Cr(VI)}$  достигла 83,3 мг/г [137], наночастица  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , с размером 15 нм, покрытым  $\delta\text{-FeOOH}$ , адсорбционная емкость по  $\text{Cr(VI)}$  определена как 25,8 мг/г [138], наночастица  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  с размером 15 нм, с Si, эффективность удаления составляла 97,34% и 90% для  $\text{Pb(II)}$  и  $\text{Hg(II)}$  соответственно [139], аминомодифицированные наночастица  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  с размером  $11,2 \pm 2,8$  нм, с лигандой –  $\text{NH}_2$ , максимальная адсорбционная емкость составила 12,43 мг/г для ионов  $\text{Cu(II)}$  и 11,24 мг/г для ионов  $\text{Cr(VI)}$  соответственно [140], наночастица  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  с размером 5-25 нм, покрытием поли-Л цистеина, степень извлечения испытуемых металлов превышала 50%,  $\text{V(III)}$ ,  $22 \pm 8\%$ ,  $\text{Cd(II)}$ ,  $71 \pm 9\%$ ,  $\text{Cu(II)}$ ,  $60 \pm 20\%$ ,  $\text{Pb(II)}$ ,  $67 \pm 4\%$ ,  $\text{Zn(II)}$ ,  $50 \pm 10\%$ , даже эффективность удаления  $\text{Ni(II)}$  достигала 89% [141], наночастица  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  с размером 8-23 нм, покрытием m-PAA-Na,

адсорбционная емкость составила для Cd (II), 5,0 мг/г<sup>-1</sup>, для Pb (II), 40,0 мг/г<sup>-1</sup>, Ni (II), 27,0 мг/г<sup>-1</sup>, и для Cu (II), 30,0 мг/г<sup>-1</sup> [142], наночастица Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с средним размером 50-70 нм, адсорбционная емкость по Ni (II) составляла 0,13 мг/г [143], наночастица Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> с размером 15 нм, адсорбционная емкость As (V), 8 мг/г [144].

Наночастиц оксидов железа могут быть хорошими фотокатализаторами, поглощающим видимый свет, как показано на примере наночастиц Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с размером 20 нм [145, 146]. При этом фотокаталитическая эффективность Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с размером 27,7 нм выше, чем у TiO<sub>2</sub>, может быть связана со значительной генерацией электронно-дырочных пар благодаря узкой запрещенной зоне [147].

## **1.2 Биологические и физико-химические свойства наночастиц оксида железа**

### **1.2.1 Стимулирующие биологические свойства**

Использование наночастиц оксида железа произвело революцию в сельском хозяйстве и растениеводстве [3, 148].

Наночастицы оксида железа способствуют увеличению урожайности растений. Например, показано, что скорость прорастания семян повышается благодаря применению наночастиц Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> с размером 25 нм, с концентрацией 30, 100, 500 мг/л, по отношению к многолетнему райграсу (*Lolium perenne L.*) и тыквы (*Cucurbita mixta*) [149], наночастиц Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> или Fe (OH)<sub>3</sub> с размером 60 ± 27 × 30 ± 12 нм, 1...50 мг/л, по отношению к семенам салата (*Lactuca sativa*) [150]. Исследования показывают, что наночастица FeO с концентрации 1 мг/л нм могут увеличивать рост томатов и баклажанов [151], наночастица Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> с размером ≥50 нм, в трех концентрациях: 400, 2000 и 4000 мг / л, увеличивает всхожесть, длина корня и количество листьев реухоу́дка (резу́шка) т́алья (*Arabidopsis thaliana*) [152], наночастица γ-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и γ-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с покрытием лимонной кислотой, с размером 6 нм, в концентрациях от 50 до 2000 мг/л<sup>-1</sup>, влияние на рост, на фотосинтетическую характеристику сои (*Glycine max (L.)*) [153], наночастица γ-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с размером 17,7 ± 3,9, в концентрациях 0, 20, 50 и 100 мг / л, влияние на

всхожесть семян, на содержание хлорофилла, на длину корня, на увеличение индекс прорастания и индекс энергии кукурузу (*Zea mays L.*) [154], нано- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  с концентрации 20 мг/л увеличить всхожесть семян арбуза и рост проростков, также улучшить физиологическую функцию и устойчивость к стрессовым воздействиям арбуза на окружающую среду [155], наночастица магнетита ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) с размером 10 нм, в разных концентрациях 0, 5 ... 20 мг/л<sup>1</sup> влияние на всхожесть, рост растений и содержание хлорофилла пшеницы (*Triticum aestivum L.*) [156].

Благодаря высокой растворимости наночастиц оксида железа растворяясь в почвенной среде, становятся источником дополнительного ионов железа, как важного макроэлемента для растений, что положительно влияет на физиологические и метаболические процессы [33, 157]. Например, наночастицы оксида железа улучшают биохимические реакции тилакоидных мембран и хлоропластов, которые помогают улучшить фотосинтетическую активность, как было показано на примере наночастица  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  с размером 200 нм [158]. Различные ферментативные процессы, которые усиливают активность хлорофилла, усиливая толерантность растений к дефициту железа, и применение наночастица  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  с размером  $20,2 \pm 2,7$  нм обеспечивает решение этой проблемы [159]. Поэтому ясно, что применение наночастиц оксида железа усиливает фотосинтетическую активность, в то время как стимулированная скорость фотосинтеза увеличивает рост и урожай растений, как продемонстрировано на примере наночастица  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  с размером 13 нм [160]. Наночастицы оксида железа обладают потенциалом интриговать внутренние ферменты растений, и эти ферменты являются сторонниками искусной активности всех физиологических процессов.

Помимо увеличения роста и урожайности растений, наночастицы также играют заметную роль в защите растений от различных типов абиотических стрессов за счет минимизации антиоксидантной ферментативной активности и

удаления активных форм кислорода [161]. Наночастицы оксида железа помогают растениям избежать неблагоприятных условий окружающей среды, таких как засоление, засуха, заболачивание, облучение, экстремальные температуры и т. д. Эти условия вызывают образование активных форм кислорода, таких как гидроксильный радикал, перекись водорода, гидропероксид-радикал, супероксид-радикал и синглетный кислород [162]. Большое накопление АФК разрушает нуклеиновую кислоту, белки и липидные мембраны, стимулирует генотоксичность и цитотоксичность, как было показано на примере наночастиц  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  с размером 20-40 нм [163].

Внекорневая поставка наночастиц  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  с размером 20-100 нм снижает вредное воздействие, значительно противодействует симптомам стресса засухи, и стимулирует параметры урожайности в *Helianthus annuus* (подсолнечник масличный) [164].

Увеличение солености в почве приводит к снижению способности растений поглощать воду и питательные вещества. Применение наночастицы  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  с размером 10-12 нм помогает снизить солевой стресс за счет значительного снижения содержания  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  наряду с повышением питательного статуса растений (Zn, Fe, Mn, Mg, K, N, P), белков, пролина, углеводов, общего хлорофилла каротиноидов [165].

Содержание железа в почве обычно высокое, но большая его часть прикрепляется к почве и присутствует в нерастворимой форме ( $\text{Fe}^{3+}$ ) [166, 167], вследствие чего в почве не хватает доступного растениям железа ( $\text{Fe}^{2+}$ ) [168]. Удобрения на основе наночастицы оксида железа могут быть альтернативой обычных железосодержащих удобрений, потому что они могут снизить стресс, вызванный дефицитом питательных веществ [169, 170], и увеличить содержание хлорофилла, что усиливает фотосинтетическую активность и рост растений [171]. Обработка наноферритовыми удобрениями снижает концентрацию абсцизовой кислоты в растениях [172], что стимулирует рост растений и



замедляет старение [173]. Удобрения на основе наночастица  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  с размером 20-30 нм содержат уникальный комплекс [174].

### ***1.2.2 Токсичные свойства наночастиц***

Наночастицы могут оказывать неблагоприятное воздействие на здоровье человека и окружающей среды в силу своего малого размера, и следовательно, высокой миграционной активности [175].

Работа [176] посвящена влиянию наночастиц  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , покрытых декстраном с размером  $31 \pm 6,58$  нм и лимонной кислотой с размером  $38 \pm 8,14$  нм, на поведение и функцию эндотелиальных клеток пупочной вены человека (HUVEC). После воздействия наночастиц  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  на эндотелиальные клетки определяли дозозависимое влияние на жизнеспособность, цитоскелет и функцию эндотелиальных клеток пупочной вены человека. Частицы, покрытые как лимонной кислотой, так и декстраном, по-видимому, в значительной степени интернализуются эндотелиальных клеток пупочной вены человека (HUVEC) посредством эндоцитоза и способствуют возможной гибели клеток, возможно, в результате апоптоза. Структуры цитоскелета были сильно разрушены, о чем свидетельствуют уменьшенные пятна винкулина и дезорганизованные актиновые волокна и сети тубулина. Способность воздействия наночастиц  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  приводит к зависимому от дозы снижению жизнеспособности эндотелиальных клеток пупочной вены человека (HUVEC) и ингибирует их миграцию. Миграция клеток значительно ингибировались даже при очень низких концентрациях железа (0,1 мМ). Результаты этого исследования указывают на огромную важность глубокого понимания взаимодействия наночастиц с клетками и возможности использовать это понимание в приложениях для терапии опухолей, в которых наночастиц  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  используются в качестве агентов иммобилизации.

Токсичность наночастиц  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  в комплексе Au с размером 20-35 нм представляют высоко биосовместимыми и безопасными наночастицами в соответствии с оценкой токсичности *in vivo* и *in vitro* [177]. Наночастицы  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

с 10 нм размером в концентрациях 0,1...10 мг/л различные реакции метаболической активности почвенных микробов растений озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) и яровая кукуруза (*Zea mays* L.) [178].

### **1.2.3 Агрегация и растворение наночастиц**

Наночастицы оксида железа встречаются в почве и в воде и играют критическую роль в химической динамике, обусловленной изменениями состояния окружающей среды, поскольку нано-минералы обладают высокой реакционной способностью [179, 180]. В естественных условиях только небольшая часть техногенных наночастиц оксида железа сохраняется в своем первоначальном виде [181]. Биотрансформация, окисление / восстановление, растворение, осаждение, сорбция и фотохимическая трансформация могут происходить среди других биогеохимических процессов [182, 183]. В свою очередь, эта трансформация может повлиять на агрегацию, мобильность, биовзаимодействие, поглощение и судьбу оксида железа в окружающей среде, а также их воздействие на среду обитания [184].

Агрегация – это самопроизвольный процесс уменьшения степени дисперсности дисперсной фазы (т.е. объединение частиц в более крупные агрегаты). Агрегация частиц может быть гомогенной (коагуляция частиц одного типа) и гетерогенной (взаимодействие частиц разной структуры и разных фаз) [185]. Склонность наночастиц к агрегации во время окислительной коррозии до оксида или гидроксида Fe (III) ограничивает эффективный транспорт и доставку наночастиц через пористую среду, что обычно необходимо для очистки подземных вод на месте и агрегация приведет к уменьшению удельной площади поверхности, что, в свою очередь, повлияет на его реакционную способность [186, 187]. Показано, что наночастицы оксида железа могут реагировать с различными функциональными группами из окружающего раствора, что сдерживает их агрегацию, как показано на примере наночастица  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с размерами 11 нм в растворе олеиновой кислоты [188], Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (8,8 ± 2,7 нм) в

растворе триблок-сополимерами [189],  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (100 нм) в растворе покрытых гуммиарабиком (GA), наделен аффинными свойствами по отношению к молекулам иммуноглобулина G (IgG) [190],  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (5-10 нм) в растворе полиэтилентерефталат [191]. Стабильность наночастиц  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  и  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , с размером 50-100 нм может быть значительно увеличена путем модификации с помощью фосфоновых, карбоновых и аминокислот [192, 193], наночастиц  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  с размером 10-15 нм в растворе, содержащем полиакриловую кислоту [194], и  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  с размером 75 нм в растворе альгинатным покрытием [195].

Агрегация и стабилизация оказывают существенное влияние на перенос в окружающую среду, реакционную способность и судьбу высвобождаемых наночастиц и особенно на перенос загрязняющих веществ с низкой растворимостью в подземных водах.

Условия почвы и грунтовых вод ( $\text{pH}=6-8$ , большое содержание электролитов и высокая ионная сила) могут вызывать обширную агрегацию и, таким образом, могут значительно снизить их подвижность и реакционную способность после закачки в подземные среды [196]. В этой работе рассматривает характеристики и агрегационное поведение наночастиц  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , средний размер частиц 30 нм, при соответствующих условиях окружающей среды (т.е.  $\text{pH}$ , концентрация частиц и ионная сила) [197]. В работе [198] рассмотрено наночастица  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  с размером 1,6 нм и 2,7 нм,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  с размером от 100 нм,  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  и их морфология, химия поверхности стабильность в окружающей среде, которые обычно встречаются в воде, почвах и отложениях.

В настоящем исследовании изучалось влияние гуминовой кислоты (в реке Суванни) на растворимость наночастиц  $\text{FeO}$  с размером  $6,9 \pm 3,85$  нм при различных концентрациях кислот и  $\text{pH}$ . При низком  $\text{pH}$  приблизительно 35% всего железа находилось в растворенной фазе, а при  $\text{pH}>4$  эта концентрация была незначительной из-за образования новых частиц в результате гидролиза [199].

### **1.3 Постановка цели и задач исследования**

Литературный обзор показал, что нанчоастицы оксида железа обладают набором уникальных свойств, очень востребованы, производятся разными методами и имеют большие перспективы для развития разных отраслей промышленности, медицины и сельского хозяйства. При этом стремительный рост объемов производства и потребления наночастиц способствует увеличению количества источников выделения наночастиц в окружающую среду. Несмотря на то, что данные о хронической токсичности наноматериалов в литературе отсутствуют, антропогенные наночастицы однозначно рассматриваются специалистами как загрязнители, характеризующиеся высокой токсичностью по отношению к человеку и естественной биологии в целом.

Также показано, что при попадании в биологическую среду, наночастицы оксида железа способны оказывать как стимулирующее, так и токсическое действие на живые организмы и растения. При этом среди всех параметров наночастиц размер частиц является ключевым фактором при оценке их воздействия в нано(эко)токсикологии, а данных о влиянии размера частиц на их биологические свойства для наночастиц оксида железа до сих пор недостаточно.

**Целью выпускной квалификационной работы** является определение влияния концентрации и размера наночастиц оксида железа на морфометрические свойства проростков пшеницы.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) провести литературный обзор, включающий получение, применение, биологические и физико-химические свойства наночастиц оксида железа;
- 2) определить фазовый состав, морфологию и размер нанопорошков оксида железа с помощью рентгенофазового анализа, электронной микроскопии и метода низкотемпературной адсорбции азота;
- 3) определить дисперсионные свойства наночастиц оксида железа методом динамического рассеяния света;

4) определить влияние размера и концентрации наночастиц оксида железа, а также ультразвуковой обработки на морфометрические свойства проростков пшеницы.

## ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ

### 2.1 Объекты исследования

#### 2.1.1 Наночастицы оксида железа

В работе исследовали нанопорошки оксида железа разных производителей со средними размерами частиц 18, 38,80 и 600 нм с обозначением в работе, соответственно, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-18, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-38, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-80 и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-600 (табл. 2.1).

Таблица 2.1. Характеристика наночастиц по данным производителей

Нанопорошки	Состав нанопорошка	Размер частиц, нм	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	Метод получения	Производитель
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -18	γ-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (маггемит)	18	75	-	Nanografi Nanotechnology, Турция
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -38	γ-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (маггемит)	18...38	55	-	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -80	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (магнетит)	80...100	10	Электрический взрыв проводника	ООО «Передовые порошковые технологии», Россия
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -600	α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (гематит)	600	-	-	ТУ 6-09-5346-87

#### 2.1.2 Семена пшеницы

Для исследования биологических свойств использовали семена пшеницы сорта «Ирень» (урожай 2017 г.) и семена пшеницы яровой сорт «Харьковская 46» (урожай 2014 г.).

Сорта «Ирень» является разновидностью мильтурум. Зерно сорта «Ирень» удлиненное, со средним хохолком, окрашенное. Масса 1000 зерен 32-38 г, содержание белка 13-16%, клейковины 26-38%, объем хлеба 940-1200 мл, общая хлебопекарная оценка 4,5-4,9 балла. У зерна сорта «Ирень» высокая питательная

ценность белка 10,1-10,9%, содержание лизина и треонина у нее составляет 8,7 г/кг [200, 201].

Сорт «Харьковская 46» относится к гордеиформе. Зерно овальное янтарное стекловидное. По массе 1000 зерен (34-38 г) сорт относится к среднекрупным. Содержание белка в зерне - свыше 17%, клейковины - до 40%. Районируется во всех зонах области Западной Сибири и Дагестана, Украина, в том числе и при орошении [202, 203].

## **2.2 Методы исследования нанопорошков**

### ***2.2.1 Рентгенофазовый анализ***

Рентгенофазовый анализ (РФА) предназначен для определения фазового состава кристаллических тел. В основу метода положено явление дифракции рентгеновских лучей на кристаллической решетке. Под дифракцией понимается явление сильного рассеяния волн на периодической решетке рассеивателя при определенных углах падения и длинах волн. Простейший случай такого явления возникает при рассеянии света на дифракционной решетке [204]. Фазовый анализ исследуемых образцов определяли на рентгеновском дифрактометре XRD 7000S (Shimadzu, Япония) в Нано-Центре ТПУ, г. Томск. Основные параметры съемки: излучение  $\text{CuK}\alpha$ ; напряжение 40 кВ, ток 30 мА; скорость движения счетчика 1,5 град/мин; интервал между штрихами отметчика 1 град; размеры вертикальных щелей у трубки и счетчика 0,15 мм; анализ проводился в интервале 10...120 град.

Результатом измерений являлись построенные рентгенограммы образцов, идентификация которых проводилась путем сравнения с рентгенограммами, обсуждаемыми в работах [205-208].

### ***2.2.2 Электронная микроскопия***

Размер и форму частиц исследовали с помощью методов сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии (СЭМ и ПЭМ) на кафедре функциональных наносистем и высокотемпературных материалов НИТУ

МИСиС, г. Москва. Методы основаны на принципе взаимодействия электронного пучка с исследуемым объектом.

СЭМ изображения получали на сканирующем электронном микроскопе VEGA 3 SBH (Tescan, Чехия). Микроскоп имеет разрешение до 8 нм, при ускоряющем напряжении до 30 кВ. Топографию образца снимали в условиях высокого вакуума ( $<9 \cdot 10^{-3}$  Па) без напыления какого-либо проводящего покрытия.

ПЭМ-изображения получены на просвечивающем электронном микроскопе JEM-1400 (Jeol, Япония), имеющем разрешение – 0,24 нм, максимальное ускоряющее напряжение 200 кВ. Все измерения проводились при ускоряющем напряжении 120 кВ.

### ***2.2.3 Низкотемпературная адсорбция азота***

Метод низкотемпературной адсорбции азота, в основе которого лежит измерение количества жидкого азота при 77 К поверхностью частиц по теории. Брунауэра–Эммета–Теллера (метод БЭТ), использовали для определения удельной поверхности порошковых материалов ( $S_{уд}$ ). Измерения проводили на анализаторе динамического типа SorbiPrep (МЕТА, Россия) в Нано-Центре ТПУ, г. Томск. Диапазон измерения удельной поверхности составлял 0.1...2000 м<sup>2</sup>/г, ошибка измерения – 0,02 м<sup>2</sup>/г. Измерение проводилось два раза. Из полученного значения  $S_{уд}$  проводили расчет среднеповерхностного размера частиц  $d$  по формуле (2.1):

$$d = \frac{6}{\rho \cdot S_{уд}} \quad (2.1)$$

где  $d$  – средний размер частиц,  $\rho$  – плотность частиц,  $S_{уд}$  – площадь удельной поверхности частиц.

## **2.3 Исследование физико-химических и биологических свойств наночастиц**

Перед исследованием лабораторную посуду (чашки Петри, стеклянные стаканы, ножницы) стерилизовали при температуре 160°C в течение 1,5 часов.



Посуда для хранения проб и биотестирования промывалась смесью бихромата калия и серной кислоты (хромовой смесью). Стенки посуды осторожно смачивали хромовой смесью и оставляли на 2-3 часа, затем тщательно промывали водопроводной водой, нейтрализовали раствором пищевой соды и 3-4 раза промывали дистиллированной водой.

### ***2.3.1 Приготовление суспензий и растворов***

Для изучения влияния концентрации и размера наночастиц на морфометрические свойства проростков сорта «Ирень» суспензии наночастиц готовили на основе дистиллированной воды ( $\text{pH}=6,8\pm0,2$ , проводимость 0,2 мкС, Аквадистиллятор ДЭ-4 ТЗМОИ, Тюмень Медико, Россия). Концентрация железа в суспензиях составляла 1...1000 мг/л. При приготовлении взвешивали навеску частиц на электронных весах ALC-110d4 (Acculab, Россия, точность  $\pm0,0001$  г) в пластиковой емкости объемом 50 мл с последующим добавлением дистиллированной воды и обработкой в ультразвуковой ванне ГРАД 28-35 (Grade Technology, Россия, 55 Вт) в течение 30 мин при  $25\pm2^\circ\text{C}$ .

Для суспензий с концентрацией железа 100 мг/л готовили суспензии без и с последующей обработкой в УЗ ванне в течение 30 мин (40 Вт, 40 кГц).

Для изучения влияния концентрации и размера частиц на морфометрические свойства проростков сорта «Харьковская 46» суспензии наночастиц готовили на основе бидистиллированной воды ( $\text{pH}=7,1\pm0,2$ ). Навески наночастиц (0,0071 мг, весы PA114C, Ohaus Corp., USA,  $\pm0,0001$  г) высыпали в стеклянной емкости объемом 100 мл с последующим добавлением бидистиллированной воды и перемешивали стеклянной палочкой в течении 20 секунд. После перемешивание, суспензии обрабатывали в ультразвуковой ванне VBS-4H (Вилитек, Россия, 120 Вт, 44 Hz) в течение 5 мин. Исходная концентрация наночастиц оксида железа во всех растворах составляла 100 мг/л, из которой путем разбавления готовили суспензии с концентрацией оксида

железа: 1 и 10 мг/л бидистиллированной водой и обрабатывали ультразвуковой ванне VBS-4H (Вилитек, Россия, 120 Вт, 44 Hz) в течение 5 мин.

Суспензии для исследования использовали в течение 15 мин после приготовления.

### ***2.3.2 Дисперсионный анализ наночастиц в суспензии***

После обработки в ультразвуковой ванне проводили исследование суспензии наночастиц с концентрации 10 мг/л с помощью методов ДРС.

Распределение частиц в суспензии по размерам измеряли с помощью метода динамического рассеяния света (ДРС) на анализаторе Zetasizer Nano ZS (Malvern, Великобритания) при 25°C (He-Ne лазер, мощность лазера 4 мВт, длина волны 633 нм) в Нано-Центре ТГУ имени Г.Р. Державина (г. Тамбов). Для измерения размеров частиц использовали прямоугольную кювету из полистирола с крышкой. В основе метода динамического рассеяния света лежит анализ флуктуаций интенсивности света, рассеянного частицами, находящимися в состоянии хаотического броуновского движения. При проведении дисперсионного анализа результатом измерения являлись кривые объемного распределения частиц по размерам, по которым рассчитывали средний размер частиц по формуле 2.2.

$$d_{\text{ср}} = \sum d \frac{q(\%)}{100(\%)} \quad (2.2)$$

где  $d_{\text{ср}}$  – средний размер частиц;  $d$  – размер частиц в дисперсии;  $q$  – дифференциальное распределение частиц в дисперсии, %.

### ***2.3.3 Определение морфометрических параметров проростков***

В экспериментах в качестве морфометрических параметров проростков определяли среднюю длину корня, всхожесть и корневой индекс. В качестве контроля (К) использовали основу для приготовления суспензии – дистиллированную (для семян «Ирень») и бидистиллированную (для семян «Харьковская 46») воду.

Эксперимент с семенами сорта «Ирень». На дно стеклянной чашки Петри (диаметр 9 см) помещали фильтровальную бумагу, смоченную 7 мл свежеприготовленной суспензии, сверху которой размещали 10 семян бороздкой вниз на равноудаленном расстоянии друг от друга (рис.2.1). Затем закрытые чашки помещали в суховоздушный термостат ТС-1/20 СПУ (ОАО «Смоленское СКТБ СПУ», Россия) на 48 ч при  $25,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$  без доступа света. После выдерживания стерильным пинцетом семена вынимали из чашки и выкладывали на черный фон для фотографирования на камеру iPhone 7 (Apple, Китай, разрешение фотосъемки 4000x3000 пикселей). Длину проросших корней измеряли в программе COREL DRAW (рис.2.2) и рассчитывали среднюю длину корня (L, см).

Всхожесть семян (G, %) определяли, как долю взошедших семян по формуле (2.3):

$$G = \frac{n}{N} \cdot 100\% \quad (2.3)$$

где, n – количество взошедших семян, N – общее количество семян.

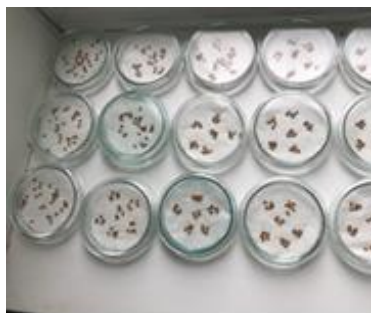


Рисунок. 2.1. Размещение семян в чашке Петри (эксперимент с семенами «Харьковская 46»).

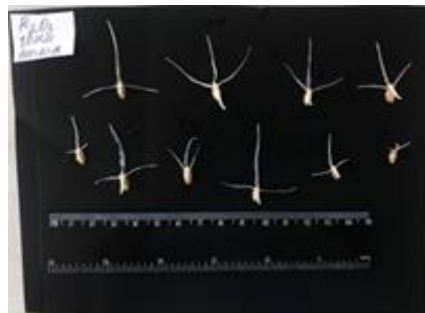


Рисунок. 2.2. Морфометрический анализ проросших корней.



Рисунок. 2.3. Проращивание семян под лампой.

После измерений только проросшие семена возвращали в чашки Петри и доливали немного дистиллированной воды при необходимости. Закрытые чашки выдерживали под климатической лампой при  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  в течение 5 дней. После выдерживания, отрезанные от семени отдельно побеги и корни высушивали в

термостате ТС-1/20 СПУ (ОАО «Смоленское СКТБ СПУ», Россия) в течение 24 ч при  $40 \pm 0,5^\circ\text{C}$  и затем взвешивали (весы ALC-110d4, Acculab, Россия, точность  $\pm 0,0001$  г), для расчета корневого индекса (RI) по формуле (2.4):

$$RI = \frac{m_k}{m_n}, \quad (2.4)$$

где,  $m_k$  – масса высушенного корня (после выращивания под лампой в течение 5 дней) и  $m_n$  – масса высушенного зеленого побега после сушки.

Эксперимент с концентрацией 25,50 ,500 мг/л проводили в один раз, а концентрацией 10, 100, 1000 мг/л проводили в двух повторностях.

**Эксперимент с семенами сорта «Харьковская 46».** Семена стерилизовали в 2% водном растворе NaClO в течение 15 мин и промывали дистиллированной водой. В чашки Петри помещали бумажные фильтры, на них выкладывали 30 семян бороздкой вниз на равноудаленном расстоянии друг от друга, смачивали 5 мл свежеприготовленной суспензии. Закрытые чашки Петри выдерживали в климатической камере «Термодат» (Зико, Россия) без доступа света (температура окружающего воздуха в лаборатории  $18...25^\circ\text{C}$ , относительная влажность воздуха  $80 \pm 5\%$ , атмосферное давление 84-106 кПа (630–800 мм.рт.ст., температура климатического камеры  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ). После выдерживания в течение 48 ч среднюю длину корня проростка (L) измеряли по методике, описанной выше в эксперименте с семенами сорта «Ирень». По полученным данным определяли всхожесть как долю взошедших семян в % по формуле (2.3). Затем проростки культивировали при климатической камере Термодат (Зико, Россия) 5 дней при  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ . После выдерживания, отрезанные от семени отдельно побеги и корни высушивали стерилизаторе воздушный ГП-40 – СПУ (ОАО Смоленское СКТБ СПУ, Россия) 1 ч при  $90 \pm 2^\circ\text{C}$  и взвешивали (весы PA114C, Ohaus Corporation, USA, точность  $\pm 0,0001$  г) и рассчитывали корневого индекса (RI) по формуле (2.4). Исследования проводили в трех повторностях.

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ82	Сапар Нурила Оразаликызы

Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	22.04.01. Материаловедение и технологии материалов

## Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет проекта – не более 424 651,9, в т.ч. затраты на оплату труда – не более 116 187 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность». Значение интегрального показателя ресурсоэффективности должно составлять не менее 4 баллов из 5.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам – 30% от ФОТ. Отчисления в государственные внебюджетные фонды с заработной платы участников проекта – 13%.

## Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Проведена оценка коммерческого потенциала проекта с анализом потенциальных потребителей.
2. Разработка устава научно-технического проекта	Составлен SWOT-анализ проекта, выявлены его сильные и слабые стороны, проведена оценка надежности и возможностей проекта, FAST - анализ.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Разработан календарный план реализации этапов проекта с разделением обязанностей исполнителей. Рассчитан общий бюджет проекта, включающий расходы на материалы, оборудование, командировочные расходы и оплату труда исполнителей.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведен расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проекта

## Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

«Портрет» потребителя результатов исследования. Сегментирование рынка. Оценка конкурентоспособности технических решений. Диаграмма FAST. Матрица SWOT. График проведения и бюджет исследования. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности исследования. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	24.02.2020
--	------------

## Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент отделения социально - гуманитарных наук	Спицына Л.Ю.	к.э.н.		

## Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ82	Сапар Н.О.		

## **ГЛАВА 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Темой дипломного проекта является "Изучение физико-химических и биологических свойств наночастиц оксида железа".

В настоящей диссертации исследовались свойства нанопорошков в различных размерах в дисперсионной среде (вода). Суспензии получали путем диспергирования наночастиц в дисперсионных средах ультразвуком. Настоящая ВКР рассматривает научно-технические основы разработки методов диспергирования суспензий наночастиц оксидов железа, а также эффективность применения разработанных суспензий, которые могут быть применены в качестве добавки для повышения биометрических показателей растения.

Целью выпускной квалификационной работы является определение влияния концентрации и размера наночастиц оксида железа на морфометрические свойства проростков пшеницы.

В данном разделе диссертации проведена оценка коммерческого потенциала исследования, определение ресурсной и экономической эффективности и планирование процесса проведения научно-технического исследования.

### **4.1 Предпроектный анализ**

#### ***4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования***

К потенциальным потребителям готового продукта – наносуспензии системы  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – могут быть отнесены агротехнология (сельское хозяйство). Исследуя рынок потенциальных потребителей, можно выделить ряд предприятий, которым могут быть интересны результаты исследований:

1. АО «Агрохолдинг «Томский» зарегистрирована 05 ноября 2015 года, Томская область, г. Томск.
2. ООО "Агрокапитал" — зарегистрирована 22 сентября 2015 года, Томская область, г. Томск.

3. ООО АПК ЧЕРНЫШЕВСКИЙ зарегистрирована 20.05.2009, Томская область, г. Томск.

4. ООО КХ "КУЕНДАТ" зарегистрировано 28.07.2000 в регионе Томская область, село Первомайское.

5. Компания СПК УСПЕХ зарегистрирована 29.12.2002, Томская область, Асиновский район.

Научные исследования направлены на получение суспензии, которые благодаря своим физико-химическим свойствам, могут увеличить урожайность растений. Все сегменты рынка могут быть заинтересованы в таких суспензиях, однако производство осуществляется в лабораторных условиях, и отсутствует оборудование для их производства в промышленных масштабах. Следовательно, приоритетным сегментом рынка являются малые предприятия с меньшими производственными мощностями. В дальнейшем, с совершенствованием технологии производства и появлением оборудования для производства больших объемов, к производству могут быть привлечены и крупные компании.

Произведя анализ рынка потенциальных потребителей, необходимо обратить внимание на то, что разработка данного материала на сегодняшний день является актуальной. В связи с этим строится карта сегментирования рынка (табл. 4.1), в которой указаны различные области применения и спрос на предлагаемый материал с улучшенными физико-механическими свойствами.

Таблица 4.1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

		Объекты применение			
		сельское хозяйство	биомедицина	экологическая очистка	областях промышленности
<i>спрос</i>	низкий	-	-	-	-
	средний		+		+
	высокий	+	-	+	-

На основании вышеизложенного анализа можно сделать вывод, что спрос на данный материал имеется в различных областях. На рынке по производству материала основная целевая аудитория – сельское хозяйство и экологическая очистка (воды, нефти, окружающую среду от тяжелых металлов). Остальные же виды промышленности тоже заинтересованы в использовании оксида железа. Например, производство полупроводников, красителей на основе транс – железоокисдо- красного и анодовая волокна для литий-ионных батарей.

#### ***4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.***

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Основными конкурентами в области приготовления удобрении являются:

1. ООО "АГРОМАКС", AGROMAX (Москва, Пушкина улица, 127)
2. «НИКФАН-ОПТ» НИКФАН (г. Краснодар, ул. Уральская 126)
3. Торговая сельскохозяйственная компания «ТЕРРА», «СИЛА ЖИЗНИ» (Москва, ул. Перовская 61/2).

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле 4.1:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (4.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;  $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – балл i-го показателя.

В таблице 4.2 приведена оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок). Основываясь на знаниях о конкурентах, в таблице показаны преимущества данной разработки.



Таблица 4.2. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бф	Бк1	Бк2	Кф	К1	К2
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Повышение производительности труда пользователя	0.1	5	5	3	0.5	0.5	0.5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.05	4	4	3	0.2	0.2	0.2
3.Надежность	0.06	4	5	2	0.4	0.2	0.2
4. Уровень шума	0.06	3	4	3	0.06	0.05	0.04
5. Безопасность	0.07	4	4	2	0.4	0.4	0.2
6. Простота в эксплуатации	0.05	3	4	1	0.15	0.2	0.05
7.Качество интеллектуального интерфейса	0.06	3	3	2	0.24	0.24	0.16
8.Возможность подключения в сеть ЭВМ	0.06	2	2	2	0.2	0.2	0.2
9. Энергосбережения	0.1	4	4	5	0.2	0.2	0.2
10. Качество активности удобрений	0.2	5	4	5	0.4	0.4	0.2
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0.08	5	4	5	0.45	0.36	0.45
2. Цена	0.07	4	4	2	0.4	0.4	0.2
3. Послепродажное обслуживание	0.03	5	5	5	0.25	0.25	0.25
4.Финансирование научной разработки	0.02	4	1	5	0.16	0.04	0.2
5. Срок выхода на рынок	0.01	4	5	2	0.12	0.15	0.06
6. Наличие сертификации разработки	0.07	5	4	5	0.45	0.36	0.45
Итого	1				4.58	4.15	4.1

Примечание: Б<sub>ф</sub> – экспертный метод; Б<sub>к1</sub> – статистический метод; Б<sub>к2</sub> – аналитический метод; К<sub>к1</sub> – конкурентоспособность научной разработки; К<sub>к2</sub> – конкурентоспособность конкурента.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 4.2 подбираются, исходя из

выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Вес показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Из анализа существующих конкурентных технических решений (табл. 4.2), следует, что предлагаемая технология изготовления суспензий из оксида железа основана на новых удобрениях. Удобрения обеспечивают влияние на морфологические свойства пшеницы, увеличивают длину корня и стебля, а также увеличивает всхожесть. Важно заметить, что такие критерии, как повышение производительности труда пользователя, простота в эксплуатации, качество активность удобрении выше, чем у конкурентов, является более перспективным.

Результаты работы могут стать устаревшими и потерять конкурентоспособность, при появлении на рынке предложения с лучшим сочетанием стоимости и свойств материалов и технологий.

#### ***4.1.3 SWOT-анализ***

Одним из методов стратегического планирования проекта является SWOT-анализ. Он позволяет выявить факторы внешней и внутренней среды организации и проанализировать их сильные и слабые стороны, возможности и угрозы. Так, сильные и слабые стороны – это факторы внутренней среды объекта, на которые возможно повлиять путем изменения самого объекта. А возможности и угрозы - факторы внешней среды, которые могут повлиять на объект извне, и при этом, объектом не контролируются. Для проведения анализа составляется матрица SWOT (табл. 4.3).

Таблица 4.3. SWOT-анализ

<b>Сильные стороны проекта:</b>		<b>Слабые стороны проекта:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Заявленная экономичность и эффективность технологии;</li> <li>- Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями;</li> <li>- Высокий уровень квалификации руководителя и консультантов проекта</li> <li>- Наличие бюджетного финансирования.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Недостаток инвестиций</li> <li>- Ограниченное время работы над проектом – 2 года обучения в магистратуре.</li> <li>- В команде проекта 2 человека: студент и руководитель</li> </ul>
<b>Возможности</b>	<b>Сильные стороны проекта:</b>	<b>Слабые стороны проекта:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Университет имеет развитую научную, энергетическую, социальную и транспортную инфраструктуру;</li> <li>- Возможность работать в лабораториях ведущих вузов (НИ ТПУ, НИТУ МИСиС,), Нано-Центра ТГУ им. Г.Р. Державина;</li> <li>- В России осуществляется стратегия импортозамещения в научно-технической сфере;</li> <li>- Есть возможность выхода на зарубежные рынки;</li> <li>- Есть возможность привлекать студентов для работы над проектом в рамках НИРС.</li> </ul>	<p>Проект актуален в связи с возрастающей потребностью в сельском хозяйстве;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Проект реализуем;</li> <li>-Проект коммерциализируемый;</li> <li>-Проект поддерживается научными школами и есть возможность консультации с ведущими учеными отрасли.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Объем работы и количество человек команды несоизмеримо с реализацией возможностей;</li> <li>- Требуются дополнительные инвестиции;</li> <li>- Ограничение по времени.</li> </ul>
<b>Угрозы</b>	<b>Сильные стороны проекта:</b>	<b>Слабые стороны проекта:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Новые конкуренты с более развитыми или доступными технологиями</li> <li>- Изменение в законодательстве, ограничивающее применение наноматериалов</li> <li>- Невозможность закупки расходных материалов;</li> <li>- Отсутствие финансового обеспечения со стороны государства</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Возможность снизить издержки производства относительно аналогов;</li> <li>- Необходимо привлекать деньги государственной поддержки научных исследований и сторонних фондов.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Недостаток инвестиций, что приводит к ограниченности в выборе методов и материалов;</li> <li>- Угроза введения ограничений для использования наноматериалов в промышленности.</li> </ul>

Анализируя матрицу SWOT анализа (табл.4.3) можно выделить следующие моменты:

1. Использование сильных сторон проекта для освоения рыночных возможностей (S-O). Разработка отличается простотой и доступностью предложенных методов, ресурсоэффективностью, экологической безопасностью и низкой себестоимостью. Это способно привлечь инвестиционные средства, а также привлечь финансирование на проведение дальнейших исследований по заявленной тематике. Учитывая то, что материаловедение и нанотехнологии являются приоритетными направлениями развития экономики РФ, можно получить государственную поддержку проекта на стадии НИР и на стадии коммерциализации.

2. Минимизация влияния слабых сторон для устранения угроз (W-T). Главной слабостью проекта является нестабильное финансирование, или даже его отсутствие. Что приводит к недостаточной оснащенности лаборатории, закупке более дешевых материалов, невозможности оплаты некоторых видов исследований (токсикологические, биологические и пр.) Проблему можно решить созданием коллабораций с лабораториями научно-исследовательских институтов, делегированием некоторых видов работ студентам и сотрудничеством с лабораториями университетов (ТПУ, ТГУ, МИСиС, СГУ) Это позволит более тщательно исследовать заявленную тему, а также позволит оценить экологичность и экотоксичность предложенных методик и расширить возможности проекта.

3. Минимизация слабых сторон для освоения возможностей (W-O). Необходимо постоянно проводить поиск потенциальных инвесторов и инвестиций (государственная поддержка, поддержка частных фондов, совместная работа с частными компаниями и лабораториями).

4. Сильные стороны для минимизации угроз (S-T). Хорошая научная база исследования и большой опыт участников проекта, а также возможность консультации с профессионалами в данной отрасли обеспечивают «имя» проекту, надежность и являются гарантом его выполнения.

Из предложенных выше стратегических инициатив выберем обладающие наибольшим весом:

1. Приоритеты угроз. Сопоставить угрозы с преимуществами проекта и с рыночными возможностями. Неразвитость рынка нанотехнологии в России и его монополизация требует от проекта стать, в каком-то смысле, первопроходцами, а также требует серьезной научно-исследовательской базы, чтобы предложить новые конкурентоспособные методы и продукты. Следует непрерывно проводить мониторинг рынка, поддерживая актуальность продукта, так как, в связи с активной научно-исследовательской работой в данной области, могут появиться материалы с лучшими свойствами при более низкой стоимости.

2. Приоритеты развития. Устранить слабые места, сопоставить недостатки с преимуществами и с рыночными возможностями. Самым главным недостатком, который требуется решить в ходе реализации и коммерциализации проекта является недостаток инвестиций. Все последующие вытекают из него. Инвестиции, возможно привлечь используя программы поддержки от государства и частных фондов.

SWOT-анализ позволил выделить наиболее актуальные проблемы, которые следует решить в ходе выполнения проекта и его коммерциализации. А именно, подготовить и развить достаточную материальную базу, найти инвестиции на исследование, собрать команду проекта, привлечь партнеров, с хорошей опытно-экспериментальной базой.

#### ***4.1.4 Оценка степени готовности проекта к коммерциализации***

В таблице 4.4 представлена оценка готовности проекта к коммерциализации. Оценку проводили по двум параметрам – проработанность этапа и уровень владения разработчиком знаний и умений, необходимых для выполнения этапа. Максимальный балл – 5 баллов.

Таблица 4.4. Оценка степени готовности проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Оценка проработанности этапа	Уровень разработчика
1.	Имеется научный задел для разработки	5	5
2.	Изучены перспективы коммерциализации проекта	4	4
3.	Изучены возможные потенциальные потребители, товары, услуги на рынке	4	4
4.	Определен товарный вид продукта для представления на рынок	3	3
5.	Осуществлена охрана прав авторов проекта и продукта	1	1
6.	Оценена стоимость интеллектуальной собственности	1	1
7.	Проведен анализ рынка сбыта продукта	4	4
8.	Подготовлен бизнес-план для коммерциализации проекта	2	2
9.	Разработаны стратегии и пути продвижения для продукта на рынке	3	2
10.	Разработана стратегия выхода на международный рынок	1	1
11.	Проработан вопрос возможности получения льгот, грантовой поддержки от государства и других услуг инфраструктуры.	4	4
12.	Разработан план для привлечения финансирования с целью коммерциализации научного проекта	2	2
13.	Имеется команда проекта	3	2
14.	Проработан механизм реализации научного проекта	2	3
	<b>Итого баллов</b>	<b>39</b>	<b>38</b>

Готовность научного проекта к коммерциализации оценивается как суммарное количество баллов по каждому направлению. Оценку можно выразить как процент от максимального количества баллов (140 баллов).

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (4.2)$$

где  $B_{\text{сум}}$  – сумма баллов по каждому направлению;  $B_i$  – бал по  $i$ -му показателю;  $B_{\text{сумм}}=78$ , то есть  $78/140*100\%=55,7\%$ .

Анализ готовности проекта к коммерциализации ( $B_{\text{сум}}$ ) дает возможность оценить проект с точки зрения каждую из этапов коммерциализации, а также сделать вывод на каких этапах стоит привлечь специалистов или консультантов.

#### ***4.1.5 Методы коммерциализации результатов исследования***

Коммерциализация проекта – это способ получения средств для продолжения научно-исследовательских работ и обеспечения постоянного притока финансов для каких-либо целей и накоплений. Для данного проекта являются возможными следующие методы коммерциализации:

1. Получение и торговля патентными лицензиями. Конечный продукт исследования – методика приготовления устойчивых суспензий наночастиц оксида железа для повышения урожайности сельских хозяйств. Такой продукт возможно запатентовать защитив, тем самым объект, как интеллектуальную собственность.

2. Передача ноу-хау. Конечный продукт также возможно зарегистрировать как ноу-хау, получая прибыль от использования его другим лицом.

3. Организация собственного или совместного предприятия. Конечным продуктом проекта могут стать готовые наноудобрения для агротехнологии. Для реализации данного метода необходимы большие инвестиционные вливания.

Выбранные методы коммерциализации позволят выйти научно-исследовательскому проекту на новый уровень, однако для его достижения необходимы значительные инвестиционные вливания. Оптимальным на данном этапе видится метод получения и торговли патентными изделиями, передача ноу-хау.

#### **4.2 Инициация проекта**

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и

внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать. Устав научного проекта магистерской работы имеет структуру, цели и результат проекта. Информацию по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 4.5.

Таблица 4.5. Заинтересованные стороны и их ожидания

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Производители удобрения с добавлением наночастица оксида железа и отдел материаловедения ТПУ, Ростпотребнадзор.	Разработанная методика по изготовлению суспензии с добавлением наночастица оксида железа.

#### 4.2.1 Цель и результаты проекта

Данный проект включает в себе разработку методик приготовления устойчивых суспензий наночастиц, совместимых с агротехнологии. В таблице 4.6 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 4.6. Иерархия целей и критерии достижения

<b>Цель проекта:</b>	Разработка состава и технологии приготовления суспензий наночастиц оксида железа, совместимых с пшеницы.
<b>Ожидаемый результат:</b>	Получены суспензии наночастиц оксида железа и пригодные для применения в качестве удобрения, для положительного влияния на морфометрические свойства проростков пшеницы.
<b>Критерий достижения результата:</b>	Суспензии соответствуют заданным характеристикам и увеличивает всхожесть, длина корня и стебля, корневой индекс.
<b>Требования к результату проекта:</b>	<b>Требования:</b>
	- Исследование свойств суспензий оксида железа в дисперсионном среде, влияние УЗ обработки;
	- Разработка состава и концентрация, размер суспензий оксидов железа, совместимых с пшеницы;
	- Исследование активности полученных суспензий на морфометрические свойства проростков пшеницы.



#### 4.2.2 Организационная структура проекта

Информация об участниках проекта представлена в табличной форме (таблица 4.7).

Таблица 4.7. Команда проекта

№	ФИО должность	Роль	Задачи в проекте
1	Годымчук Анна Юрьевна к.т.н доцент ТПУ	Научный руководитель	Выбор основного направления исследования, постановка цели, консультирование и корректировка в процессе работы, обсуждение результатов
2	Сапар Нурила Оразаликызы, Магистрант 2 года ТПУ	Исполнитель	Постановка задач исследования, составление плана, выполнение экспериментальной части, обсуждение результатов, подготовка отчета

*Ограничения и допущения проекта.* Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица 4.8. Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	500000 руб.
3.1.1. Источник финансирования	Индивидуальный грант ИФВТ НИ ТПУ по теме магистерской диссертации
3.2. Сроки проекта:	
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	-
3.2.2. Дата завершения проекта	28.05.2020
3.3. Прочие ограничения и допущения*	

К прочим ограничениям могут относиться ограничения на количество ресурсов (например, ограничения по времени использования научного оборудования, времени работы участников проекта), ограничения, связанные с законодательством, окружающей средой и т.д.

### 4.3 Планирование управления научно - исследовательским проектом

Важным этапом данного проекта является составление графика проведения научного исследования, который предназначен для распределения обязанностей по выполнению работ и определения временных рамок производимой работы.

#### 4.3.1 Иерархическая структура и планирование работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.



Рисунок 4.1. Иерархическая структура по ВКР

Предварительный план исследования – разбивка работы на этапы и подэтапы и назначение сроков и ответственных для каждого из этапов.

Настоящую работу можно разделить на следующие этапы:

1. Постановка цели и задач исследования:

1.1. Литературный обзор;

- 1.2. Выбор материалов и методов;
- 1.3. Разработка методик эксперимента
2. Экспериментальная часть исследования
  - 2.1. Отработка методик;
  - 2.2. Проведение экспериментов;
3. Отработка результатов
  - 3.1. Обсуждение результатов;
  - 3.2. Оформление графических и технологических карт;
  - 3.3. Оформление отчета.

Таблица 4.9. Календарный план проекта

Код	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Разработка ТЗ. Литературный обзор. Выбор материалов и методов	3 недели 4 дня	02.12.19	26.12.19	Сапар Н.О
2	Разработка методик и методов	4 недели 4 дня	27.12.20	30.01.20	Сапар Н.О Годымчук А.Ю
3	Подготовка материалов и настройка оборудования	1 неделя 2 дня	31.01.20	8.02.20	Сапар Н.О
4	Отработка методик эксперимента	5 недель 2 дня	10.02.20	17.03.20	Сапар Н.О Годымчук А.Ю
5	Проведение экспериментов	5 недель 4 дня	18.03.20	25.04.20	Сапар Н.О
6	Оформление и обработка данных	2 недели 2 дня	27.04.20	12.05.20	Годымчук А.Ю
7	Проведение контрольных экспериментов и корректировка методик	2 недели 2 дня	13.05.20	28.05.20	Сапар Н.О

Код	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
8	Обсуждение результатов	2 недели 2 дня	29.05.20	13.06.20	Сапар Н.О Годымчук А.Ю
9	Оформление отчета	6 дней	14.06.20	20.06.20	Сапар Н.О



Используя таблицу распределения работы построим сетевой график исследования. Диаграмма Ганта представляет собой график, на котором отрезками отмечены работы с учетом протяженности во времени с указанием даты начала и окончания (табл. 4.9).

В проекте задействованы 2 сотрудника (Исполнитель и руководитель):

- 1) Научный руководитель (Р);
- 2) Инженер (дипломник) (И).

Таблица 4.10. Календарный план-график проведения НИР по теме

Исполнители	Этап	Длительность, дни						
		Дек.	Янв.	Фев.	Мар.	Апр.	Май	Июн.
Инженер (дипломник)	Разработка ТЗ. Литературный обзор. Выбор материалов и методов	И						
Инженер (дипломник)	Разработка методик и методов		И					
Руководитель			Р					
Инженер (дипломник)	Подготовка материалов и настройка оборудования		И					
Инженер (дипломник)	Отработка методик эксперимента			И				
Руководитель				Р				

Исполнители	Этап	Длительность, дни						
		Дек.	Янв.	Фев.	Мар.	Апр.	Май	Июн.
Инженер (дипломник)	Проведение эксперимента				И			
Инженер (дипломник)	Оформление и обработка данных					И		
Инженер (дипломник)	Проведение контрольных экспериментов и корректировка методик					И		
Инженер (дипломник)	Обсуждение результатов						И	
Руководитель							Р	
Инженер (дипломник)	Оформление отчета							И
Заливка  руководитель,  - инженер								

По диаграмме Ганта можно оценить продолжительность проекта. Совмещение некоторых этапов позволило сократить общую продолжительность работ. На основе анализа составленной диаграммы Ганта можно сделать вывод, что продолжительность работ составляет 6 месяцев - начиная со второй декады декабря, заканчивая второй декадой июня. Помимо этого, следует учесть вероятностный характер оценки трудоемкости. То есть продолжительность работ может, как уменьшиться, так и увеличиться.

Рассчитаем по диаграмме Ганта время работы для исполнителей проекта (табл. 4.11).

Таблица 4.11. Рабочее время исполнителей проекта

Показатели	Руководитель	Инженер
Продолжительность работы над проектом, в рабочих днях	24	148

Продолжительность исследования составит 159 дней. Из них:

- 148 дней – занятость инженера (дипломника);
- 24 дня – занятость руководителя.

#### **4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ**

Затраты на рабочую силу в большинстве случаев формируют основную часть затрат на разработку, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работы каждого из участников проекта.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ож\ i}$  используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5}, \quad (4.3)$$

где  $t_{ож\ i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;  $t_{min\ i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;  $t_{max\ i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{ч_i}, \quad (4.4)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб.дн.;  $t_{ож\ i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;  $Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для примера рассчитаем ожидаемую трудоемкость выполнения 1 этапа работ по формуле (4.3).

$$t_{ож\ i} = \frac{3*20+2*25}{5} = 22.$$

Тогда длительность работ в рабочих днях, составит.

$$T_{pi} = \frac{22}{1} = 22.$$

Данные о трудоемкости каждого этапа научно-исследовательской работы приведены в таблице 4.12.

Таблица 4.12. Временные показатели проведения научного исследования

Этап	Вид работ	Трудоемкость, чел. Дни			Исполнитель	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$
		$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$		
1	Разработка ТЗ. Литературный обзор. Выбор материалов и методов	20	25	22	1	22
2	Разработка методик и методов	25	30	27	2	14
3	Подготовка материалов и настройка оборудования	3	15	8	1	8
4	Отработка методик эксперимента	30	35	32	2	16
5	Проведение экспериментов	30	40	34	1	34
6	Оформление и обработка данных	10	20	14	1	14
7	Проведение контрольных экспериментов и корректировка методик	10	20	14	1	14
8	Обсуждение результатов	10	20	14	2	17
9	Оформление отчета	12	5	4	1	6
<b>Итого</b>						143

### 4.3.3 Бюджет научного исследования

При планировании сметы научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета используется следующая группировка затрат по статьям: материалы и покупные изделия; заработная плата; социальный налог; расходы на электроэнергию (без освещения); амортизационные отчисления; командировочные расходы; оплата услуг связи; арендная плата за пользование имуществом; прочие услуги (сторонних организаций); прочие (накладные расходы) расходы.

*Материальные затраты, сырье, покупные изделия (за вычетом отходов)*

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода. Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Затраты на сырье и материалы рассчитываются по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = \sum_{i=1}^n G_i \cdot Ц_i \quad (4.5)$$

где  $З_{\text{м}}$  – суммарные затраты, руб.;  $G_i$  – расход  $i$ -го компонента, ед.;  $Ц_i$  – цена  $i$ -го компонента, руб./ед.

Рассчитаем по формуле затраты на сырье и расходные материалы, используемое в данной работе (табл. 4.13).



Таблица 4.13. Затраты на сырье

Наименование	Кол-во	Единица изм.	Цена, руб	Сумма, руб.
Нанопорошок $\text{Fe}_2\text{O}_3$ размером 600 нм	0,1	кг	15104,00	1510,00
Ультрадисперсный порошок оксида железа (80 нм)	0,1	кг	12150,00	1215,00
Нанопорошок маггемита (18-38 нм)	0,1	кг	37315,00	3731,50
Нанопорошок маггемита (18 нм)	0,1	кг	17500,00	1750,00
Серная кислота	0,1	л	129,600	129,60
Бихромат калия	0,1	кг	285,00	285,00
Дистиллированная вода	80	л	15	1200,00
Лабораторная посуда	-	-	-	1500,00
Одноразовые контейнеры для анализа	50	шт	14,5	725,00
<b>Итого</b>				12045,6

## Расчет затрат на оборудование

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме (таблица 4.13). Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Таблица 4.14. Список оборудования для исследования

№	Наименование оборудования	Количество
1	Лабораторные аналитические весы ALC-110d4	1
2	Ультразвуковой ванне ГРАД 28-35	1
3	Термостат ТС-1/20 СПУ	1
4	Дистиллятор D-30938	1
5	Анализатор частиц Zetasizer Nano ZS	1

№	Наименование оборудования	Количество
6	Просвечивающий электронный микроскоп (ПЭМ) JEM-2100F	1
7	Сканирующий электронный микроскоп VEGA 3 SBH	1
8	Рентгеновский дифрактометр XRD 7000S	1

Вышеуказанное спецоборудование для научных работ находилось в лаборатории. Дополнительных расходов не требовалось.

### *Электроэнергия*

В составлении сметы НИР также необходимо учесть затраты на электроэнергию, это даст представление о энергоэффективности и энергозатратности разрабатываемого метода.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$\mathcal{E} = \mathcal{C} \cdot N \cdot n \cdot t_{\text{зан. ч}} \cdot k_n, \quad (4.6)$$

где  $\mathcal{C}$ - стоимость 1 кВт/ч электроэнергии, руб.;  $N$  - мощность оборудования, кВт;  
 $n$  — количество единиц оборудования одного вида, ед.;  $t_{\text{зан. ч}}$  - время занятости оборудования, ч.;  $k_n$  – коэффициент потери электроэнергии в сети ( $k_n = 1,05$ ).  
 ТПУ  $\mathcal{C}_{\mathcal{E}} = 5,748$  руб./кВт·час (с НДС).

Рассчитаем затраты на электроэнергию работы ультразвуковой ванны по формуле (5).

$$\mathcal{E} = 5,748 \cdot 55 \cdot 1 \cdot 30 \cdot 1,05 = 9958,4$$

Вычисленные затраты на электроэнергию представлены в таблице 4.15.

Таблица 4.15. Затраты на электроэнергию

№	Наименование оборудования	Цена, Ц, р.	N, кВт	n	t <sub>зан.ч.</sub> ч.	Затраты, руб.
1	Аналитические весы	5,748	0,11	1	17	112,6
2	Ультразвуковая ванна	5,748	0,55	1	30	99,58
3	Термостат	5,748	0,25	1	72	108,64
4	Аквадистиллятор ДЭ-4 ТЗМОИ	5,748	6	1	24	869,1
5	Анализатор частиц Zetasizer Nano ZS	5,748	0,50	1	40	120,7
6	Просвечивающий электронный микроскоп (ПЭМ) JEM- 2100F	5,748	30	1	20	3621,2
7	Сканирующий электронный микроскоп VEGA 3 SBH	5,748	30	1	30	5431,8
8	Рентгеновский дифрактометр XRD 7000S	5,748	3	1	20	362,1
<b>Итого</b>						10 725,72

#### *Расчет амортизационных расходов*

Во время использования машины, машина неизбежно будет иметь старое явление, поэтому мы должны рассчитать старые потери оборудования. Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$З_{об} = (Ц \cdot F_{\phi}) / (F_{н} \cdot F_{сс}), \quad (4.7)$$

где Ц – цена оборудования, руб.;  $F_{н}$  – номинальный фонд времени (рабочее время в году), ч;  $F_{сс}$  – срок службы оборудования, год;  $F_{\phi}$  – фактическое время занятости оборудования, ч.  $F_{н} = 250$  дней = 6000 ч. Вычисленная амортизация оборудования представлена в таблице 4.16. Данные взяты на основе отчета лаборатории.

Таблица 4.16. Расчет амортизационных расходов

№	Наименование оборудования	Ц, руб.	Р <sub>сс</sub> , год	Р <sub>ф</sub> , ч.	З <sub>об</sub> , руб.
1	Лабораторные аналитические весы ALC-110d4	59 900	8	17	21,21
2	Ультразвуковой ванне ГРАД 28-35	14 900	3	30	24,83
3	Термостат ТС-1/20 СПУ	18 000	10	72	21,6
	Аквадистиллятор ДЭ-4 ТЗМОИ	30 000	5	24	24
4	Анализатор частиц Zetasizer Nano ZS	1 млн 773 840	30	40	394,18
5	Просвечивающий электронный микроскоп (ПЭМ) JEM- 2100F	72 млн	20	20	12 000
6	Сканирующий электронный микроскоп VEGA 3 SBH	16 млн 260 000	20	30	4065
7	Рентгеновский дифрактометр XRD 7000S	17 млн	15	20	3777,7
<b>Итого</b>					<b>20 328,52</b>

### *Полная заработная плата исполнителей темы*

В настоящую статью включается основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$Z_{\text{зн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (4.8)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата;  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. Основная заработная плата ( $Z_{\text{осн}}$ ) исполнителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (4.9)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн. (таблица 8);  $Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{тс}} + Z_{\text{допл}} + Z_{\text{рк}}}{F_{\text{д}}}, \quad (4.10)$$

где  $F_{\text{д}}$  – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе, 22 при 5-дневной рабочей неделе), раб.дн.;  $Z_{\text{тс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;  $Z_{\text{допл}}$  – доплаты и надбавки, руб.;  $Z_{\text{рк}}$  – районная доплата, руб. Для руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{23250 + 3750 + 7639}{26} = 1332 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата составляют

$$Z_{\text{осн}} = 1332 * 24 = 31968.$$

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.17.

Таблица 4.17. Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{тс}}$ , руб.	$Z_{\text{допл}}$ , руб.	$Z_{\text{рк}}$ , руб.	$Z_{\text{м}}$ , руб.	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	23250	3750	7639	34639	1332	24	31968
Исполнитель	8000	1200	2400	11600	446	159	70914
<b>Итого <math>Z_{\text{осн}}</math>, руб.</b>							102 882

Расчет дополнительной заработной платы, размер которой составляет 12 – 15% от основной.  $Z_{\text{доп}} = 31968 * 0,15 = 4795$  руб.

Расчет полной заработной платы работы рассчитывают по формуле (4.8):

$$Z_{\text{зп}} = 31968 + 4796 = 36763$$

Расчет полной заработной платы представлен в таблице 4.18.

Таблица 4.18. Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	$k_{\text{доп}}$	$Z_{\text{осн}}$ , руб.	$Z_{\text{доп}}$ , руб.	$Z_{\text{зп}}$ , руб.
Руководитель	0,15	31968	4796	36763
Дипломник	0,12	70914	8509	79423
<b>Итого <math>Z_{\text{осн}}</math>, руб.</b>		102882	13305	116187

### *Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)*

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (4.11)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%:

- 22 % – ПФ;
- 5,1 % – ФФОМС;
- 2,9 % – ФСС.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{внеб} = 0,3 \cdot (102882 + 13305) = 34\,856 \text{ рублей}$$

### *Затраты на научные и производственные командировки*

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом действующих норм командировочных расходов различного вида и транспортных тарифов.

В целях реализации проекта было проведено стажировка:

- в НОИЦ «Нанотехнологии и наноматериалы» Тамбовского государственного университета имени Г.Р. Державина (г. Тамбов) – 1 месяц.

Таблица 4.19. Оплата расходов производилась согласно сметам:

Виды расходов	Статья расходов	Стоимость единицы	Количество дней	Общая стоимость
				Рублей
1. Суточные стажировка	1350	50	27	1 350
2. Проживание в г. Москва	-	15 000	27	15 000
3. Транспортные расходы	-	90	-	2700
4.Авиа-перелет Томск-Москва -Томск	19000	9484,98 8495,58	-	17 980,56
5.ЖД проезд Москва – Тамбов - Москва		2056 1641,8	-	3 697,8
Итого в рублях				40 728,36

*Накладные расходы*

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов.

Таблица 4.20. Накладные расходы

Наименование		Марка		Кол-во	Цена, руб
Бумага		«Снегурочка», А4,500 листов		2	500
Ручка шариковая масляная, синняя		Erich Krause «Ultra Glide U-18»		2	58,82
Карандаш, твердый М		«Конструктор»		2	20
Ластик		Maped technic duo		2	58
Точилка		Maped Vivo – 1		1	20
Папка-конверт А4, синяя		Attache		1	14,8
Итого					671,62 руб
Нерасходные материалы					
Наименование	Марка	Кол-во	кВт.ч	Время работы, ч.	Энер.затрат, руб
Компьютер	Acer	2	0,14	700	1182,9
Принтер	HP LaserJet	1	0,03	1	0,181
Интернет	TPU Net	1	300	-	500
Итого в рублях					1683
Общая сумма					2354,70 руб

Включая печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (4.12)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента накладных расходов составляет 0,8.

$$Z_{\text{накл}} = (12045,6 + 10725,72 + 20328,52 + 116187,00 + 34856 + 40728,36 + 2354,70) \cdot 0,8 = 189\,780,7 \text{ руб.}$$

#### **4.3.4 Расчет общей себестоимости разработки**

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в таблице 4.21.

Таблица 4.21. Смета научного исследования

№	Наименование статьи	Сумма, руб.
1	Материальные расходы	12045,6
2	Электроэнергия	10725,72
3	Амортизация оборудования	20328,52
4	Полная заработная плата исполнителей работы	116187
5	Отчисления во внебюджетные фонды	34856
6	Затраты на научные и производственные командировки	40728,36
7	Накладные расходы	189 780,7
<b>Итого в рублях</b>		<b>424 651,9</b>

Исходя из таблицы 4.21, можно сделать вывод, что общие затраты на реализацию научно-исследовательского проекта составят 425 тысяч рублей.



#### 4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Для определения эффективности исследования проводим сравнение использования удобрения в виде оксида железа и соли железа ( $\text{FeCL}_2$ ). Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} \quad (4.13)$$

где  $I_{\phi}^p$  – интегральный финансовый показатель разработки;  $\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;  $\Phi_{\max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p, \quad I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a \quad (4.14)$$

где  $I_m^p$ ,  $I_m^a$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;  $a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;  $b_i^p$ ,  $b_i^a$  – бальная оценка  $i$ -го параметра для разработки и аналога;  $n$  – Число параметров сравнения.

**Эффективность:** предложенная разработка позволяет готовить суспензии с заданными характеристиками (концентрация, pH), стабильные к агрегации в течении долгого промежутка времени.

**Стоимость:** разработанные методики требуют минимальных вложений по оборудованию и расходным материалам.

**Простота:** предложенным метод прост в применении, поскольку не требует использования дополнительного оборудования.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведён в таблице 4.22.

Таблица 4.22. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1 удобрения (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Исп. 2 удобрения (FeCL <sub>2</sub> )
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,2	5	5
Активность	0,2	5	4
Селективность	0,1	5	4
Энергосбережение	0,2	4	5
Надежность	0,2	5	4
Материалоёмкость	0,1	5	4
<b>Итого</b>	1	4,8	4,4

$I_m^p = 0,2*5 + 0,2*5 + 0,1*5 + 0,2*4 + 0,2*5 + 0,1*5 = 4,8$  – интегральный показатель ресурсоэффективности Исп. 1 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>);

$I_m^{a1}=4,4$  – интегральный показатель ресурсоэффективности Исп. 2 (FeCL<sub>2</sub>);

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения проекта определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп.1}} = \frac{I_{p-\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.1/финр}}} \quad (4.15)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущей разработки и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a} \quad (4.16)$$

Таблица 4.23. Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1 (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Исп. 2 (FeCL <sub>2</sub> )
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,78	0,8
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,8	4,4
3	Интегральный показатель эффективности	6,15	5,5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,12	1

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что разработка в магистерской диссертации является более эффективным вариантом решения задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

#### 4.5 Выводы по разделу

В данной главе проведен SWOT анализ научного исследования, в ходе которого были выявлены сильные и слабые стороны проекта. Исследование

имеет ряд значительные преимущества, угрозы для внедрения проекта не ставят под угрозу возможность его реализации.

Для лучшего планирования проведения работ и лучшей реализации труда исполнителей была построена ленточная диаграмма Ганта, которая наглядно иллюстрирует какое время необходимо затратить для осуществления НИР.

Также была определена смета научного исследования, выявлены основные статьи расходов. С помощью нее можно оптимизировать затраты в будущем при проведении аналогичных исследований. Примерная сумма для осуществления НИР составила 424 651,9 тыс. рублей.

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что разработка в магистерской диссертации является более эффективным вариантом решения задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ82	Сапар Нурила Оразаликызы

Школа	Новых производственных технологий	Отделение (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	22.04.01. Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

Изучение физико-химических и биологических свойств наночастиц оксида железа	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p><b>Объект исследования</b> - нанопорошки оксидов железа. В работе исследовались свойства нанопорошков в различных размерах в дисперсионной среде (вода). Суспензии получали путем диспергирования наночастиц в дисперсионных средах ультразвуком.</p> <p><b>Рабочее место</b> - лаборатория кафедры наноматериалов и нанотехнологий Томского политехнического университета. Лаборатория кафедры НМНТ ТПУ расположена в здании корпуса № 15 ТПУ на втором этаже. Размеры помещения составляет 3х4х3 м, при общей площади 12 м<sup>2</sup>, что удовлетворяет требованиям к лабораторному помещению. Пол лаборатории покрыт линолеумом, стены покрыты кафельной плиткой, потолок побелен. Используется естественное (имеется 2 окна, выходящих на восток) и искусственное освещение. Используемые приборы для приготовления и исследования суспензий – аналитические весы, ультразвуковая ванна, спектрофотометр и анализатор частиц.</p> <p><b>Области применения</b>- агротехнология и нефтехимическая промышленность, лаборатории.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <p>1.1 Правовые нормы трудового законодательства</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>режим рабочего времени</li> <li>защита персональных данных работника</li> <li>оплата и нормирование труда</li> <li>виды компенсаций при работе во вредных условиях труда, и т.д.</li> </ul> <p>1.2. Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны</p>	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018);</p> <p>ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения);</p> <p>ГОСТ Р 12.0.001-2013 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Основные положения.</p> <p>ГОСТ Р 56748.1-2015/ISO/TS 12901-1:2012 Нанотехнологии. Наноматериалы. Менеджмент риска. Общие положения</p> <p>ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.</p> <p>Постановление гос. сан. врача РФ №54 от 23.07.2007 г. "О надзоре за продукцией, полученной с использованием нанотехнологий и содержащей наноматериалы"</p> <p>СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений</p> <p>СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов</p> <p>ГОСТ 12.4.113-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Работы учебные лабораторные. Общие требования безопасности;</p> <p>ГОСТ 12.1.006-84 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электромагнитные поля радиочастот.</p> <p>СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.</p> <p>СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585-10 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий</p> <p>СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.</p>

	<p>ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности;</p> <p>СП 51.13330.2011 Защита от шума.</p> <p>ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности</p> <p>ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.</p>
<p><b>2. Производственная безопасность:</b></p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные проявления факторов производственной среды: Отклонение показателей микроклимата, электромагнитное излучение, превышение уровня шума, ультразвук, вибрации, электромагнитное излучение недостаточная освещенность рабочей зоны, потенциальные риски при работе с вредными веществами, влияние психофизиологических факторов: монотонность труда, физические и эмоциональные перегрузки, умственное перенапряжение.</p> <p>Опасные проявления факторов производственной среды: электротравмы при неправильной работе с электроприборами.</p> <p>Механические повреждения деталями оборудования</p>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	<p>Негативное воздействие на окружающую среду: контакт наночастиц с организмом человека и естественной биотой вследствие попадания в атмо-, гидро- и литосферу при превышении ПДК.</p> <p>Утилизация люминесцентных ламп и макулатура.</p>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<p>При работе в лаборатории наиболее вероятными ЧС являются пожары.</p> <p>1. использование огнетушителя, песка, асбестового одеяла, пожарного крана и пожарного щита;</p> <p>2. обеспечение средствами индивидуальной защиты;</p> <p>3. организационная эвакуация работников</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	02.03.2020
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент отделения общетехнических дисциплин	Романцов И.И.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ82	Сапар Н.О.		

## ГЛАВА 5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Настоящая работа направлена на разработку состава и подбора условий приготовления суспензий, которые могут быть применены в качестве добавки для повышения биометрических показателей растения и очистка тяжелых металлов.

Экспериментальные работы проходили на базе двух лабораторий:

- лаборатория отделения наноматериалов и нанотехнологий, Инженерная школа новых производственных технологий Томского политехнического университета (НМНТ ИШНПТ ТПУ), г. Томск;

Лаборатория укомплектована следующим оборудованием:

- весы аналитические «Acculab ALC-210D4», Германия;
- рН-метр «рН-410 Аквилон», Россия;
- термостат «ТС 1/80-СПУ», Россия;
- магнитная мешалка «MS-3000 Biosan», Латвия;
- спектрофотометр «PD-303 Apel», Япония;
- центрифуга «Centrifuge 5702 Eppendorf», Германия;
- рабочее место, оснащенное ПК;
- шкаф для хранения лабораторной посуды – 3 шт.;
- вытяжной шкаф – 2 шт.;
- шкаф для хранения химикатов – 2 шт.;
- стол с рабочей поверхностью – 4 шт.;
- раковина – 2 шт.

Лаборатория кафедры Нано-Центра ТГУ им. Г.Р. Державина, г. Тамбов.

Современный интерес к применению нанотехнологий определил необходимость моделирования эколого-биологических свойств наночастиц. Известные данные по повышенной растворимости металлических наночастиц их высокая миграционная активность в окружающей среде, малый размер и повышенная потенциальная токсичность сделали актуальным изучение влияния

наночастиц металлов на растительные тест-объекты. Несмотря на многочисленные эксперименты других ученых, до сих пор недостаточно данных о поведении наночастиц металлов переменной валентности в различных экосистемах.

### **5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Список опасных и вредных веществ регламентируются постановлением гос. сан. врача РФ №54 от 23.07.2007 г. [210]. Согласно постановлению наноматериалы не относятся к опасным веществам, если достоверными источниками не доказано обратное.

В лабораторию допускаются только лица, достигшие совершеннолетия, являющиеся сотрудниками или студентами (в т.ч. студенты по обмену, лица, выполняющие практические, курсовые и дипломные работы), обязательно прошедшие вводный инструктаж, обучение работе на оборудовании под руководством научных и инженерно-технических работников, прошедшие инструктаж по технике безопасности поведения в лабораторно-исследовательском помещении, технике безопасности обращения с химическими реактивами [211]. Сотрудники лаборатории обязаны регулярно проходить медицинское обследование [212].

При работе с наночастицами и наноструктурными материалами все работники должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты: спецодежда или халат х/; прорезиненный с нагрудником; защитные латексные или резиновые перчатки; респиратор; очки защитные, с боковой защитой [213]. Контроль за исполнением требований законодательной базы осуществляется Федеральной инспекцией труда при Министерстве труда и социальной защиты Российской Федерации.

Согласно ТК РФ, № 197-ФЗ [214], каждый работник имеет право на рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда. Основные эргономические требования организации рабочей зоны исследователя:



- Отсутствие лишних объектов;
- Нужные вещи должны находиться на расстоянии вытянутой руки;
- Рабочее оборудование должно соответствовать технике безопасности и быть удобным;
- Рабочее место должно хорошо освещаться;
- Помещение должно хорошо проветриваться.

Правильно организовать рабочее место – это значит обеспечить его в соответствии со специализацией и технологическим назначением, а также с учетом существующего уровня технического прогресса – оборудованием, инвентарем, производственной мебелью, средствами связи и оргтехники; наладить бесперебойное и ритмичное обслуживание рабочего места другими службами, материальным и информационным обеспечением; создать благоприятные условия труда для выполнения трудовых процессов. При этом материально-технические средства должны быть размещены в зоне рабочего места в соответствии с содержанием выполняемой работы и требованиями рациональных трудовых приемов [215].

## **5.2 Производственная безопасность**

Производственные факторы подразделяются на: вредные и опасные производственные факторы. Согласно определениям, вредным производственный фактор считается, если его воздействие на работающего, может привести в определённых условиях, к травме или внезапному ухудшению здоровья. Воздействие опасного производственного фактора может привести к заболеванию или снижению работоспособности [216]. При этом, опасный фактор может стать вредным, в зависимости от условий воздействия.

Таблица 5.1. Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
2. Электромагнитное излучение	+	+		СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	ГОСТ 12.4.113-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Работы учебные лабораторные. Общие требования безопасности;
4. Повышенный уровень шума, ультразвук	+	+		ГОСТ 12.1.006-84 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электромагнитные поля радиочастот.
5. Воздействие вредных веществ	+	+	+	СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
6. Вибрации	+	+		СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585-10 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий
7. Электробезопасность	+	+		СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности; СП 51.13330.2011 Защита от шума. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

### **5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов**

**Отклонение показателей микроклимата.** Микроклимат производственной среды определяется следующими параметрами: температура, интенсивность теплового излучения, относительная влажность воздуха, и оказывает непосредственное влияние на состояние и здоровье человека, а, следовательно, на его функциональную деятельность и надежность работы.

Согласно классификации, СанПиН 2.2.4.548-96 [217], профессиональной деятельности по категориям тяжести на основании общих энергозатрат, инженерная и исследовательская деятельность относится к категории легких работ (I б). Оптимальными параметрами микроклимата для этого случая являются следующие:

- Для холодного периода года: температура 21-23 °С, влажность 40-60%, скорость движения воздуха в помещении 0,1 м/с.
- Для теплого периода года: температура 22-24 °С, влажность 40-60%, скорость движения воздуха в помещении 0,1 м/с.

Для работы в зимнее время года обеспечивается отопление помещения. В летний период рабочая температура поддерживается постоянным кондиционированием.

Помимо этого, необходимо, чтобы размеры помещения соответствовали нормам вместимости оборудования и рабочих. Согласно по ГОСТ 12.4.113-82 [218], геометрические размеры в лаборатории должны быть: площадь зоны - 4,5 м, ширина зоны - 3,0 м; высота нижней границы зоны от пола - 1,0 м и одновременно в лаборатории может работать до 10 человек. Помещения, в котором производились работы, имеет параметры: 1. Лаборатория отделения материаловедения ИШНПТ ТПУ: длина 4 м, ширина 3 м, высота 3 м, общая площадь 12 м<sup>2</sup>, общий объем 36 м<sup>3</sup>.

**Электромагнитное излучение.** Последующий анализ и обработка данных, полученных за время эксперимента, предполагает использование

ПЭВМ. Это значит, что оператор сталкивается с влиянием электромагнитных полей. Избыточное воздействие электромагнитного поля может стать причиной неврологических нарушений, бессонницы, привести к сбоям в работе желудочно-кишечного тракта и прочим негативным последствиям. Защита от электромагнитного излучения осуществляется с применением поглощающих или отражающих экранов [219].

**Вибрация.** Предельно допустимый уровень (ПДУ) вибрации - это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ вибрации не исключает нарушение здоровья у сверхчувствительных лиц.

Требования СН 2.2.4/2.1.8.566-96 [220], предельно допустимые величины нормируемых параметров вибрации рабочих мест при длительности вибрационного воздействия 480 мин (8 ч) приведены в таблице 2:

Таблица 5.2. Допустимые уровни вибрационного воздействия в октавных полосах частот

Рабочее помещение	Уровень вибрационного воздействия давления в октавной полосе со среднегеометрическими частотами, дБ.								Мах уровень виброускорения, дБ
	Среднегеометрическая частота, Гц								
	8	16	31,5	63	125	250	500	1000	
Лаборатория	123	123	129	135	141	147	153	159	126
Лаборатория	115	109	109	109	109	109	109	109	виброскорости, дБ

Общая вибрация в лаборатории относится категория 3, тип "в" допустимые уровни вибрационного воздействия соответствует по СН 2.2.4/2.1.8.566-96.

**Недостаточная освещенность рабочей зоны.** Недостаточное освещение может снижать зрительную работоспособность, а, следовательно, и концентрацию, помимо этого возможны такие последствия как развитие офтальмоонкологических заболеваний, перегруз центральной нервной системы, и негативное влияние на психоэмоциональное состояние рабочего. Помимо естественного освещения, которое обеспечивается окнами, лаборатория оснащена системой искусственного освещения.

Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585-10 [221], и СП 52.13330.2016 [222], норма освещенности для научно-технических лабораторий для естественного бокового освещения  $KEO=1,2 \%$ , для совмещенного освещения  $KEO=2,1 \%$ . Для искусственного освещения при общем освещении норма 300-500 люк, при коэффициенте пульсации не более 10%.

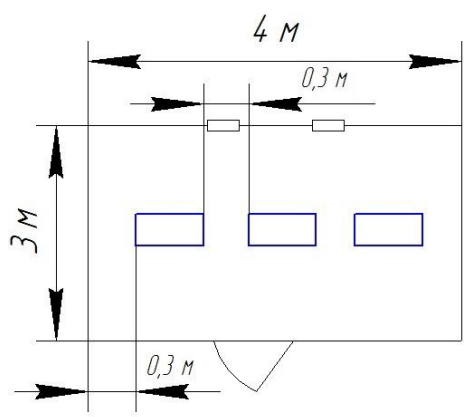


Рисунок 5.1. План размещения светильников

Коэффициенты отражения светового потока от потолка, стен, соответственно равны:

$q_n = 70 \%$ ,  $q_c = 50 \%$ ,  $q_z = 10 \%$ . Уровень от рабочей поверхности до потолка составляет:

$$H = h - h_p - h_c,$$

$$H = 3 - 0,80 - 0 = 2,20 \text{ м},$$

где  $h$  – высота потолков, м;  $h_p$  – высота рабочей поверхности, м;  $h_c$  – расстояние светильников от перекрытия, м.

Для освещения используются светильники типа ОД мощностью 40 Вт, для которых оптимальность расположения светильников составляет  $\lambda = 1,4$ . Расчетная длина между двумя рядами светильников:  $L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,2 = 3,08$  м.

Число рядов светильников:  $n = B/L = 3/3,08 = 0,97$ , где  $B$  – ширина помещения, м.

Выбираем  $n = 1$  ряд светильников. Тогда индекс освещения:

$$i = \frac{S}{H \cdot (A + B)} = \frac{12}{1 \cdot (4 + 3)} = 1,7.$$

Коэффициент использования светового потока  $\eta = 43 \%$ .

Световой поток лампы ЛБ составляет  $F_0 = 2480$  лм. Тогда световой поток светильника ОД, состоящего из двух ламп  $F = 4960$  лм.

Необходимое число светильников в ряду:  $\frac{6210 \text{ лм}}{4265,6 \text{ лм}} \approx 3$ .

Далее рассчитывается фактическое освещение в помещении.

Число светильников в ряду 3 (число ламп 2):  $\Phi = 2850 \cdot 3 \cdot 2 = 17100$  лм.

Фактическое освещение в помещении  $\Phi = 17100$  лм для одного ряда светильников, т. е. для трех светильников с двумя лампами. Рассчитывается фактическое значение освещения в помещении по формуле:

$$E_{\text{факт}} = \frac{N \cdot \eta \cdot \Phi}{S \cdot K_3 \cdot Z \cdot 100\%} = \frac{4960 \cdot 3 \cdot 43\%}{12 \cdot 1,5 \cdot 1,15 \cdot 100\%} = 309 \text{ лк.}$$

Согласно расчётам, фактическое значение освещения укладывается в диапазон освещённости искусственным светом 300-500 лк:  $E_{\text{факт}} = 309$  лк.

**Повышенный уровень шума, ультразвук.** Источниками шума в данном исследовании следует принять: магнитная мешалка и ультразвуковая ванна. Эти приборы провоцируют возникновение звуковых колебаний в рабочей зоне.

Непрерывная работа в условиях повышенного уровня шума может стать причиной снижения работоспособности персонала, вызывать подавленное психическое состояние, стать причиной развития тугоухости, частичной глухоты.

Требования ГОСТ 12.1.003-2014 [223], и СП 51.13330.2011 [224], для уровней звукового давления и максимальный уровень шума для работы в лаборатории представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3. Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот

Рабочее помеще ние	Уровень звукового давления в октавной полосе со среднегеометрическими частотами, дБ.									Мах уровень звука, дБ
	Среднегеометрическая частота, Гц									
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Лаборато рия	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60

Для обеспечения безопасной работы в условиях лаборатории следует контролировать одновременное включение нескольких приборов, а также использовать звукоизолирующие кожухи, личные средства защиты – звук подавляющие наушники.

**Воздействие вредных веществ.** Для безопасной работы с вредными химическими веществами является необходимо знание свойств, особенностей их токсичного действия и симптомов отравления. Неосторожность при работе с химическими реактивами может привести к острым и хроническим отравлениям, раздражению дыхательных путей, химическим и термическим ожогам.

Рассмотрим используемые в работе реактивы.

1. *Серная кислота* – Пары (туман) обладают чрезвычайно сильным раздражающим и прижигающим действием на дыхательные пути, поражает легкие. Сама серная кислота продукция по степени воздействия на организм относится к высоко опасным веществам по соответствии с ГОСТ 2184-2013 [225]. При попадании на кожу и глаза вызывает химические ожоги. Вредно для водных организмов. Продукция отнесена к высоко опасным по степени воздействия на организм, 2 класс опасности. В результате термодеструкции образуются оксиды

серы. Предельно допустимая концентрация серная кислоты в воздухе рабочей зоны составляет 1 мг/м<sup>3</sup>, аэрозоль.

2. *Бихромат калия* - Наиболее токсичным компонентом препарата является бихромат натрия (калия). По ГОСТ 12.1.007-76 [226], бихромат калия относится к веществам первого класса опасности. Попадание соединений шестивалентного хрома на поврежденную кожу ведет к образованию трудно заживающих язв. Соединения хрома вызывают местное раздражение кожи и слизистых, общетоксическое действие сказывается в поражении почек, печени, желудочно-кишечного тракта и сердечно-сосудистой системы. Соединения хрома способны накапливаться в организме. Предельно допустимая концентрация (ПДК) аэрозоля бихромата калия в пересчете на CrO<sub>2</sub> в воздухе рабочей зоны производственных помещений - 0,01 мг/м<sup>3</sup>, в воде водоемов санитарно-бытового пользования - 0,1 мг/дм<sup>3</sup> [227].

3. *Оксиды железа (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)* – оксидное соединение железа разной валентности. Представляет из себя буро-коричневый порошок с размерами частиц микронного диапазона.

В соответствии с 1272/2008/ЕС не классифицируется как опасное для водной среды вещество. Согласно классификации в соответствии с регламентом (ЕС) №1272/2008 (CLP) при попадании может вызывать раздражение и разъедание кожи, серьезное повреждение и раздражение глаз. Является веществом обладающим специфической избирательной токсичностью, поражающим отдельные органы мишени при длительном и многократном воздействии. В качестве мер предосторожности следует избегать вдыхания и попадания на кожу. При попадании на кожу и слизистые – осторожно промыть большим количеством воды. В случае плохого самочувствия обратиться в токсикологический центр или к врачу. Утилизация проводится на заводах промышленного сгорания. Оксид железа не является горючим или взрывоопасным веществом. Однако при возгорании контейнера с материалом



или при непосредственной близости очага возгорания следует тушить разбрызгиванием воды, пеной, сухим порошком для тушения или диоксидом углерода. Нельзя тушить струей воды. В случае непреднамеренного выделения оксида железа следует выполнить следующие действия для локализации и очистки:

1. Использовать средства защиты, препятствующие попаданию на кожу, в глаза, на личную одежду, вдыханию пыли;
2. Перекрыть канализацию;
3. Убрать материал механическим способом, препятствуя всплыванию наночастиц;
4. Переместить материал в соответствующие контейнеры для утилизации.

Меры предосторожности при обращении и хранении. При работе с наночастицами оксида железа следует обеспечить достаточную вентиляцию помещения и рабочего места. Перед паузами и по окончании работы тщательно вымыть руки. Хранить вдали от напитков и пищевых продуктов, в сухом месте, в таре с плотно закрытой крышкой при температуре 15-25 °С.

Показатели токсичности (класс опасности и среднесуточная предельно допустимая концентрация) оксидов железа, используемых в работе, приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4. Показатели токсичности материалов согласно ГОСТ 12.1.005-88 [228].

Соединение	Показатель	
	Класс опасности	ПДК с.сут. (мг/м <sup>3</sup> )
Оксид железа (III) Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3	0,04
Оксид железа (II, III) Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	3	0,04

Напорошковые материалы могут вызывать раздражение слизистой оболочки и кожного покрова, засорение дыхательных путей организма. Для

обеспечения безопасности труда при контакте с наноматериалами обязательно должны применяться средств индивидуальной защиты (маски, респираторы), технические средства (приточная и вытяжная вентиляции), а также необходимо проводить инструктаж обслуживающего персонала. Индивидуальной защитой служат противогаз марки БКФ, респираторы типа «Астра-2», «Лепесток-200», защитные очки, спецодежда из хлоритовой ткани.

**Психофизиологические фактор.** При выполнении ВКР могут возникнуть следующие вредные факторы: умственное перенапряжение и монотонность труда. Данные факторы вызывают у человека:

Данные факторы вызывают у человека: снижение работоспособности; преждевременную усталость; рассеянное внимание; уменьшение скорости реакции; снижение двигательной активности; ухудшение зрительной функции; нервное истощение.

Для предупреждения воздействия данных факторов на организм следует: изменять ритм работы; менять деятельность; чередование работы с легкими физическими нагрузками; проводить лечебно-профилактические мероприятия.

Каждые 40-45 минут в соответствии с нормами проводится физкультурная пауза: гимнастика для глаз, лёгкие гимнастические упражнения для тела. Каждый час проводится перерыв, для выполнения гимнастики для глаз, а также выполнять несколько упражнений на расслабление, которые могут уменьшить напряжение, накапливающееся в мышцах при длительной работе за компьютером.

### ***5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных факторов на исследователя***

В процессе работы с оборудованием (установка Malvern Zeta Sizer, ПЭВМ) необходимо уделить внимание требованиям электробезопасности

Электробезопасность — это совокупность технических средств и организационных мероприятий, для обеспечения защиты работников от вредных

и опасных воздействий электрического тока, электромагнитного поля, статического электричества и электрической дуги [229].

Наиболее частыми причинами электротравм являются:

1) Прикосновение к металлическим корпусам неисправных электроприборов, которые находятся под напряжением, или имеют повреждения изоляции;

2) Прикосновение или приближение на критическое расстояние к токоведущим частям, находящимся под напряжением;

3) Неисправности электропроводки помещения;

4) Человеческий фактор: небрежность, неосторожность, неопытность, неосведомленность пользователя.

5) нахождение в непосредственной близости от токоведущих частей, находящихся под напряжением выше 1000В;

6) прикосновение к токоведущей части и мокрой стене или металлической конструкции, соединенной с землей;

7) одновременное прикосновение к двум проводам или другим токоведущим частям, которые находятся под напряжением;

Механические повреждения возникают вследствие резких непроизвольных судорожных сокращений мышц под действием тока, проходящего через тело человека. В результате могут произойти разрывы кожи, кровеносных сосудов и нервной ткани, а также вывихи суставов и даже переломы костей.

Помещение, используемое для проекта отнесено к следующей категории, в соответствии с классом опасности поражения электрическим током: помещения без повышенной опасности.

Основным средством защиты человека при работе с промышленными электроустановками является заземление корпуса. Для защиты рабочего персонала также устанавливают полы из изолирующих материалов (например,

линолеум, резина, древесина и др.). Таким образом, в лаборатории должна быть обеспечена хотя бы одна из приведенных выше систем электробезопасности. В данном исследовании работа проводилась со следующими приборами: анализатор размера и дзета-потенциала частиц, рН-метр, УЗ-генератор, вытяжной шкаф. Неправильное обращение может стать причиной поражения электрическим током. Согласно классификации помещений по опасности поражения электрическим током можно отнести данную лабораторию к помещениям без повышенной опасности.

В лаборатории проекта заземлены все приборы, на полу - линолеум.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, необходимо:

1. применять: защитное заземление; зануление и отключение; защитное экранирование; систему защитных проводов;
2. проводить контроль состояния изоляции электрических установок;
3. С целью предотвращения поражений электрическим током каждый сотрудник должен проходить инструктаж по охране труда на рабочем месте.

### **5.3 Экологическая безопасность**

Наночастицы, благодаря малому размеру, могут проникнуть практически в любые среды и даже в организмы. Поступая из разных источников в окружающую среду, наночастицы, благодаря малому размеру, способны проникать в самые разные области нашего мира. Схема миграции наночастиц представляет собой взаимное перемещение наночастиц между средами обитания (воздух, гидросфера и литосфера), а также миграцию в различные биологические объекты (человек и наземные обитатели, растительный и животный мир водной системы, почва и отложения и т.д.).

Наночастицы могут представлять опасность для любого элемента экосистемы, однако степень этой опасности пока не известна. На сегодняшний день

сформированы пять основных шагов для определения рисков, связанных с повсеместным применением наноматериалов [230]:

1. Составить программу систематических исследований, ориентированных на определение возможного риска, связанного с наночастицами.
2. Разработать методы обнаружения наночастиц в воздухе и воде.
3. Создать методы определения возможной токсичности наноматериалов.
4. Сформировать модели, способные предсказать возможное воздействие наноматериалов на окружающую среду и здоровье человека.
5. Изыскать способ оценки воздействия наночастиц на окружающую среду и здоровье.

*Защита атмосферы.* Наночастицы, попадая в воздух, образуют аэрозоли, устойчивые к седиментации. Эти аэрозоли проникают в биологические объекты через дыхательные пути, пищеварительный тракт, кожу и слизистые. Чтобы предотвратить попадание веществ в атмосферу, следует использовать в помещении лаборатории систему вентиляции, оснащенную встроенной системой фильтрации. Предельно допустимая концентрация наноматериалов в воздухе регламентируется [231]. В производственных помещениях также необходимо контролировать чистоту помещения [232]. Для этого используют следующие технические подходы: контроль, фильтрование среды, очистка сред (вода, воздух), индивидуальная защита персонала. В помещениях, где непосредственно проводится работа с наноразмерными частицами используется вытяжная система с вакуумом для предотвращения попадания дисперсных частиц за пределы помещения.

*Защита гидросферы.* Наночастицы с производства, при неправильной утилизации суспензий металлических нанопорошков могут попадать в воду, используемую для питьевых нужд. Данным путем частицы попадают в пищеварительный тракт человека. В настоящее время исследования, доказывающие данный механизм попадания частиц не проведены, а такая

возможность рассматривается только на вероятностном уровне. При этом, на сегодняшний день тема поведения наночастиц в водных средах не изучена глубоко, а в России наноматериалы не признаны потенциально опасными. По ГОСТ 17.1.3.06–82 [233], и ГОСТ 17.1.3.13–86 [234], если ПДК по ГН 2.1.5.2280-07 [235], не превышен, очистка воды не требуется.

*Защита литосферы.* Наночастицы попадают в почву путем осаждения, адсорбции или адгезии из атмосферы, растворением и осаждением из гидросферы, а также из биологических объектов, например, при их разложении. Наночастицы легко проникают из почвы в бентос, в растения, и, далее по пищевой цепочке, в организмы животных и людей. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в почве регламентируется МУ 2.1.7.1185-03. 2.1.7. [236].

*Утилизация люминесцентных ламп и макулатуры.* К числу наиболее важных направлений управления промышленными отходами и отходами потребления относится не только экологически безопасное обращение с отходами, но и их переработка во вторичные материальные ресурсы. Утилизация люминесцентных ламп по ГОСТ Р 52105-2003 [237], каждая трубка люминесцентной лампы содержит в себе от 3 до 5 мг ртути. Люминесцентные лампы причислены к первому классу токсичных отходов, и требуют специальной утилизации: вышедших из строя ламп, помещают в индивидуальные картонные коробки от ламп типа ЛБ, ЛД и другие, после упаковки ламп в тару для хранения их следует сложить в отдельные коробки из фанеры или ДСП. При накоплении определенного количества ртутьсодержащих и прочих опасных видов ламп их сортируют, помещают в отдельные ячейки и отправляют в профильную компанию для последующей нейтрализации и переработки [238].

Макулатура по ГОСТ Р 55090-2012 [239], проводится с разными методами. Для макулатуры существуют специально установленные контейнеры, в которые помещаются отработавшие печатные издания, офисная бумага и

другие изделия из переработанной целлюлозы. Они отвозятся в пункты по сбору макулатуры, где утилизируются. Выделяется несколько основных способов: захоронение; брикетирование; компостирование; переработка (химически, механически, термически).

#### **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

На случай возникновения чрезвычайной ситуации (ЧС) необходимо разработать и ознакомить сотрудников с рядом действий и, уменьшающих масштабы ЧС. Также необходимо проводить планирование по предупреждению чрезвычайных ситуаций.

Наиболее вероятными для научно-исследовательской лаборатории чрезвычайными ситуациями являются пожар и взрыв.

Возгорание может возникнуть по ряду причин, среди которых неисправная проводка, неисправное оборудование, неосторожное обращение с огнем. В хорошо вентилируемом помещении интенсивный приток воздуха может способствовать быстрому распространению пламени. Потому, при распространении огня, если возгорание не ликвидировано в первые несколько секунд, следует в первую очередь отключить вентилятор и закрыть вентиляционный канал. Последовательность действий при пожаре:

- подать сигнал о помощи;
- удалить из зоны горения все материалы, способные к воспламенению, в случае возможности, удалить источник воспламенения;
- обесточить электрооборудование, ставшее источником воспламенения или обесточить все помещение;
- применить первичные средства пожаротушения.

Последовательность действий зависит от конкретной ситуации.

При этом, стоит учитывать, что, если в вытяжном шкафу проводились работы с токсичными веществами, то отключение вентиляции может стать причиной выделения из в воздух рабочей зоны. А при повышении температуры

возможность отравления участников ликвидации аварии возрастает. В таком случае всем, находящимся в помещении, необходимо использовать СИЗОД, до снижения концентрации токсиканта в воздухе.

Регулярно следует проводить мероприятия по мониторингу и повышению устойчивости организации при ЧС:

- инженерно-технические – повышение устойчивости сооружений, контроль за технологическими процессами, противопожарные мероприятия (система сигнализации, средства пожаротушения и пр.), утилизация и контроль сроков хранения и объемов пожаро- и взрывоопасных веществ, дублирование и контроль источников электроснабжения, защита водоисточников, защита уникального и ценного оборудования.

- организационные – включают в себя разработку плана действий при ЧС, прогнозирование последствий, создание и контроль систем оповещения, подготовка персонала, проведение учений. Помимо этого, к инженерно-техническим мерам относятся разработка планов и технологических карт по снижению опасности при возникновении аварийных ситуаций, восстановление нарушенного производства и локализация последствий. Инструктаж сотрудников по пожарной безопасности и технике безопасности.

- специальные мероприятия - обеспечение и хранение СИЗОД, создание запаса средств для нейтрализации опасных и вредных веществ, дегазация [240].

Лаборатория оснащена 2-мя углекислотными огнетушителями марки ОУ-2, которые предназначены для тушения возгораний химических веществ за исключением тушения щелочноземельных элементов, электрических приборов, работающих под напряжением ниже 1000 В.

### **5.5 Выводы по разделу**

Главным направлением обеспечения экологической безопасности нанотехнологий и наноматериалов является жесткий контроль нанопродуктов и



их производных на всех стадиях жизненного цикла: от разработки и изучения в лаборатории до полной утилизации. Так как система гигиенического контроля и нормирования для наночастиц и наноматериалов на сегодняшний день еще не разработана, то при работе с наночастицами следует проводить мониторинг риска для каждого используемого материала. Целью такого мониторинга должно стать уменьшение до приемлемого уровня риска и снижение негативных воздействий исследуемых частиц на персонал и окружающую среду [241].

В главе рассмотрены основные требования к безопасности работы персонала на всех этапах работы с выбранными материалами для минимизации негативного воздействия. Организация работы по представленным протоколам также является основным минимумом для перехода от лабораторного производства к опытному, а затем и к массовому производству и использованию предложенных в работе идей в промышленности.

В работе исследовались правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности и организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. В итоге, установлено, что рабочее место соответствует нормам по защищённости от вредных и опасных факторов, при работе соблюдаются правила по утилизации полученных отходов. Так же она соответствует правовым нормам и имеет соответствующую компоновку рабочей зоны.

## **6 СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**

1. Сапар Н.О., Годымчук А.Ю., Гусев А.А., Захарова О.В., Баранчиков П.А. Влияние размера наночастиц на морфометрические свойства проростков пшеницы // Сборник материалов международная научно-техническая конференция молодых ученых «Инновационные материалы и технологии», 09-10 января 2020 г., г. Минск: Изд-во БелГТУ, 2020. – С. 365-368.
2. Сапар Н.О. Влияние размера наночастиц на морфометрические свойства проростков пшеницы // Материалы XVI Российской ежегодной конференции молодых научных сотрудников и аспирантов «Физикохимия и технология неорганических материалов», 1-4 октября 2019 г., Москва: ИМЕТ РАН, 2019. – С.113-114.
3. Сапар Н. Биологические свойства промышленных железосодержащих наночастиц // Труды X Всероссийской научно-практической конференции "Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов", 22-24 апреля 2020 г., г.Томск: Изд-во ТПУ, 2020. - В печати.

## 7 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Bundschuh M., Filser J., Lüderwald S., Moira S., Kee M., Metreveli G., Schaumann G., Schulz R., Wagner S. Nanoparticles in the environment: where do we come from, where do we go to? // *Environmental Sciences Europe*. – 2018. – Vol. 30. – № 6. – P. 1-17.
2. Chichiriccò G., Poma A. Penetration and Toxicity of Nanomaterials in Higher Plants // *Nanomaterials*. – 2015. – Vol. 5. – № 2. – P. 851-873.
3. Scott N., Chen H. Nanoscale science and engineering for agriculture and food systems // *Industrial Biotechnology*. – 2012. – Vol.8. – № 6. – P. 340-343.
4. Dutschk V., Karapantsios T., Liggieri L., McMillan N., Miller R., Starov V. M. “Smart and green interfaces: from single bubbles/drops to industrial environmental and biomedical applications” // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2014. – Vol. 209. – P. 109-126.
5. Al-Halafi A. M. Nanocarriers of nanotechnology in retinal diseases // *Saudi Journal of Ophthalmology*. – 2014. – Vol. 28. – P.304-309.
6. Baughman R. H., Zakhidov A. A., and Heer de W. A. Carbon nanotubes the route toward applications // *Science*. – 2002. – Vol. 297. – № 5582. – P. 787-792.
7. Lang X., Hirata A., Fujita T., and Chen M. Nanoporous metal/oxide hybrid electrodes for electrochemical supercapacitors // *Nature Nanotechnology*. – 2011. – Vol. 6. – № 4. – P. 232-236.
8. Rizzello L., Pompa P. P. Nanosilver-based antibacterial drugs and devices: mechanisms, methodological drawbacks, and guidelines// *Chemical Society Reviews*. – 2014. – Vol. 43. – №5. – P. 1501-1518.
9. Yang K., and Ma Y. “Computer simulation of the translocation of nanoparticles with different shapes across a lipid bilayer” // *Nature Nanotechnology*. – 2010. – Vol. 5. – № 8. – P. 579-583.

10. Diao M., Yao M. Use of zero-valent iron nanoparticles in inactivating microbes // *Water Research*. – 2009. – Vol. 43. – № 20. – P. 5243-5251.
11. Ljubimova J. Y. and Holler E. Biocompatible nanopolymers: the next generation of breast cancer treatment? // *Nanomedicine*. – 2012. – Vol. 7. – № 10. – P. 1467-1470.
12. Astruc D. Electron-transfer processes in dendrimers and their implication in biology, catalysis, sensing and nanotechnology // *Nature Chemistry*. – 2012. – Vol. 4. – № 4. – P. 255-267.
13. Delgado-Ramos G. C. Nanotechnology in Mexico: global trends and national implications for policy and regulatory issues // *Technology in Society*. – 2014. – Vol. 37. – № 1. – P. 4-15.
14. Safari J., Zarnegar Z. Advanced drug delivery systems: nanotechnology of health design A review // *Journal of Saudi Chemical Society*. – 2014. – Vol. 18. – № 2. – P. 85-99.
15. Safiuddin M., Gonzalez M., Cao J. W., and Tighe S. L. State-of-the-art report on use of nano-materials in concrete // *International Journal of Pavement Engineering*. – 2014.
16. Zhou X., Torabi M., Lu J., Shen R., and Zhang K. Nanostructured energetic composites: synthesis, ignition/combustion modeling, and applications // *ACS Applied Materials and Interfaces*. – 2014. – Vol. 6. – № 5. – P. 3058-3074.
17. Podsiadlo P., Kaushik A. K., Arruda E. M., Waas A. M., Shim B., S. Xu J., Nandivada H., Pumplin B. G., Lahann J., Ramamoorthy A., Kotov N. A. Ultrastrong and stiff layered polymer nanocomposites // *Science*. – 2007. – Vol. 318. – № 5847. – P. 80-83.
18. Engeman C.D., Baumgartner L., Carr B.M., Fish A.M., Meyerhofer J.D., Satterfield T.A., Holden P.A., Harthorn B.H. Governance implications of nanomaterials companies' inconsistent risk perceptions and safety practices // *Journal of Nanoparticle Research*. – 2012. – Vol. 14. – P. 1-12.

19. Becker S., Nanotechnology in the marketplace: how the nanotechnology industry views risk // *Journal of Nanoparticle Research*. – 2013. – Vol. 15. – P. 1-13.
20. Fu F., Dionysiou D.D., Liu H. The use of zero-valent iron for groundwater remediation and wastewater treatment: a review. *Journal of Hazardous Materials*. – 2014. – Vol. 267. – P.194-205.
21. Maynard A.D., Aitken R.J., Butz T., Colvin V., Donaldson K., Oberdörster G., Philbert M.A., Ryan J., Seaton A., Stone V., Tinkle S.S. Safe handling of nanotechnology // *Nature*. – 2006. – Vol. 444. – № 7117. – P. 267-269.
22. Ramimoghadam D., Bagheri S., Hamid S.B.A. Progress in electrochemical synthesis of magnetic iron oxide nanoparticles // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. – 2014. – Vol. 368. – P. 207-229.
23. Naseri M.G., Kamari H.M., Dehzangi A., Kamalianfar A., Saion E.B. Fabrication of a novel chromium-iron oxide ( $\text{Cr}_2\text{Fe}_6\text{O}_{12}$ ) nanoparticles by thermal treatment method // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. – 2015. – Vol. 389. – P. 113-119.
24. Sun C., Zhou R., Jianan E., Sun J., Ren H. Magnetic  $\text{CuO-Fe}_3\text{O}_4$  nanocomposite as a highly active heterogeneous catalyst of persulfate for 2,4-dichlorophenol degradation in aqueous solution // *RSC Advances*. – 2015. – Vol. 5. – № 70. – P. 57058-57066.
25. Zareii F.D., Roozbahani A., Hosnamidi A. Evaluation the effect of water stress and foliar application of Fe nanoparticles on yield, yield components and oil percentage of safflower (*Carthamus tinctorious* L.) // *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*. – 2014. – Vol. 2. – P. 1150-1159.
26. Huang Q., Cao M., Ai Z., Zhang. L. Reactive oxygen species dependent degradation pathway of 4-chlorophenol with  $\text{Fe-Fe}_2\text{O}_3$  core-shell nanowires // *Applied Catalysis B: Environmental*. – 2015. – Vol. 162. – P. 319-326.

27. Atar N., Eren T., Yola M.L., Karimi-Maleh H., Demirdögen B. Magnetic iron oxide and iron oxide-gold nanoparticle anchored nitrogen and sulfur-functionalized reduced graphene oxide electrocatalyst for methanol oxidation // RSC Advances. – 2015. – Vol. 5. – № 33. – P. 26402-26409.
28. Kaviani B., Negahdar N., Ghaziani M.V.F. The effect of iron nano-chelate and cycocel on some morphological and physiological characteristics, proliferation and enhancing the quality of Euphorbia pulcherrima // Willd Scientific Papers. Series B. Horticulture. – 2014. – Vol. 58. – P. 337-342.
29. Boverhof D.R., David R.M. Nanomaterial characterization: considerations and needs for hazard assessment and safety evaluation // Analytical and bioanalytical chemistry. – 2010. – Vol. 396. – № 3. – P. 953-961.
30. Rahman M.M., Khan S.B., Jamal A., Faisal M., Aisiri A.M. Iron oxide nanoparticles // Nanomaterials, INTECH Open Access Publisher. – 2011. – P. 43-66.
31. Балоян Б.М., Колмаков А.Г., Алымов М.И., Кротов А.М. Наноматериалы. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения, – М.: Международный университет природы, общества и человека «Дубна», Филиал «Угреша», 2007. – С. 3-125.
32. Mohapatra M., Anand S. Synthesis and applications of nano-structured iron oxides/hydroxides // International Journal of Engineering, Science and Technology. – 2010. – Vol. 2. – № 8. – P. 127-146.
33. Kandpal N.D., Sah N., Loshali R., Joshi R., Prasad J. Co-precipitation method of synthesis and characterization of iron oxide nanoparticles // Journal of Scientific and Industrial Research. – 2014. – Vol. 73. – P. 87-90.
34. Majewski P., Thierry B. Functionalized magnetite nanoparticles - synthesis, properties, and bio-applications // Critical Reviews in Solid State and Material. – 2007. – Vol. 32. – P. 203-215.

35. Wei W., Wu Z., Yu T., Jiang C., Kim W.S. Recent progress on magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, surface functional strategies and biomedical applications // *Science and Technology of Advanced Materials*. – 2015. – Vol. 16. – P. 43.
36. Jeong U., Teng X., Wang W., Yang Y., Xia H. Y. N. Superparamagnetic colloids: controlled synthesis and niche applications // *Advanced Materials*. – 2007, – Vol. 12. – P. 33-60.
37. Hui C., Shen C., Yang T., Bao L., Tian J., Ding H., Li C., Gao H.-J. Large-scale  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles soluble in water synthesized by a facile method // *The Journal of Physical Chemistry C*. – 2008. – Vol. 112. – № 30. – P. 11336-11339.
38. Compeán-Jasso M.E., Ruizb F., Martínezb J.R., Herrera-Gómez A. Magnetic properties of magnetite nanoparticles synthesized by forced hydrolysis // *Materials Letters*. – 2008. – V. 62. – № 27. – P. 4248-4250.
39. Wang C., Hong J., Chen G., Zhang Y., Ning G. Facile method to synthesize oleic acid-capped magnetite nanoparticles // *Chinese Chemical Letters*. – 2010. – Vol. 21. – № 2. – P. 179-182.
40. Kolen'ko Y.V., Bañobre-López M., Rodríguez-Abreu C., Carbó-Argibay E., Sailsman A., Piñeiro-Redondo Y., Cerqueira M.F., Petrovykh D.Y., Kovnir K., Lebedev O.I., Rivas J. Large-scale synthesis of colloidal  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles exhibiting high heating efficiency in magnetic hyperthermia // *The Journal of Physical Chemistry*. – 2014. – Vol. 118. – № 16. – P. 8691-8701.
41. Alagiri M., Bee Abdul Hamid S. Sol–gel synthesis of  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  nanoparticles and its photocatalytic application // *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. – 2015. – Vol. 74. – P. 783-789.
42. Tadic M., Trpkov D., Kopanja L., Vojnovic S., Panjan M. Hydrothermal synthesis of hematite ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) nanoparticle forms: Synthesis conditions, structure, particle shape analysis, cytotoxicity and magnetic properties // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2019. – Vol. 792. – №5. – P. 599-609.

43. Khakpour Z., Pourfarahani H., Maghsoudipour A., Ebadzadeh T. Synthesis and deposition of hematite nanoparticles on Fluorine-doped Tin Oxide (FTO) glass substrates // *Materialstoday: Proceedings*. – 2018. – Vol. 5. – №7. – P. 15828-15835.
44. Grau-Crespo R., Al-Baitai A.Y., Saadoun I., De Leeuw N.H. Vacancy ordering and electronic structure of  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (maghemite): a theoretical investigation // *Journal of Physics: Condensed Matter*. – 2010. – Vol. 22. – № 25. – P. 255-401.
45. Yoon S. Preparation and physical characterizations of superparamagnetic maghemite nanoparticles // *Journal of Magnetism*. – 2014. – Vol.19. – P. 323-326.
46. Abbas M., Md. Nazrul I., Parvatheeswara Rao B., Abdel-Hamed M.O., Kim C. Facile one-pot chemical approach for synthesis of monodisperse chain-like superparamagnetic maghemite ( $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanoparticles // *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. – 2015. – Vol. 31. – P. 43-46.
47. Golmohammad M., MalekiShahraki M., Golestanifard F., Mirhabibi A., Yang G. Synthesis and characterization of nanoflaky maghemite ( $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) as a versatile anode for Li-ion batteries // *Ceramics International*. – 2019. – Vol. 45. – № 1. – P.131-136.
48. Cornell R.M., Schwertmann U. The Iron Oxides. Structure, Properties, Reactions, Occurrences and Uses // WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, – 2003. – P. 694-705.
49. Baker A.S.J., Brown A.S.C., Edwards M.A., Hargreaves J.S.J., Kiely C.J., Meagher A., Pankhurst Q.A. A structural study of hematite samples prepared from sulfated goethite precursors: the generation of axial mesoporous voids // *Journal of Materials Chemistry A*. – 2000. – Vol. 10. – P. 761-766.
50. Ростовцев С.Т. Теория металлургических процессов. М.: Металлургиздат, 1956. – С. 515-530.



51. La Mer V.K., Dinegar R.H. Theory, production and mechanism of formation of monodispersed hydrosols // Journal of the American Chemical Society. – 1950. – Vol. 72. – P. 4847-4854.
52. Butter K., Kassapidou K., Vroege G.J., Philipse A.P. Preparation and properties of colloidal iron dispersions // Journal of Colloid and Interface Science. – 2005. – Vol. 287. – № 2. – P. 485-495.
53. Zhao Y., Qiu Z., Huang J. Preparation and analysis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> magnetic nanoparticles used as targeted-drug carriers // Chinese Journal of Chemical Engineering. – 2008. – Vol. 16. – P. 451-455.
54. Indira T. K., Lakshmi P. K. Magnetic nanoparticles – a review // International Journal of Pharmaceutical Sciences and Nanotechnology. – 2010. – Vol. 3. – P. 1035-1042.
55. Massart R., Cabuil V. Effect of some parameters on the formation of colloidal magnetite in alkaline medium: yield and particle size control // Journal of Chemical Physics. – 1987. – Vol. 84. – P. 967-982.
56. Gupta A. K., Gupta M. Synthesis and surface engineering of iron oxide nanoparticles for biomedical applications // Biomaterials. – 2005. – Vol. 26. – P. 3995-4021.
57. Gupta A. K., Curtis A. S. G. Lactoferrin and ceruloplasmin derivatized superparamagnetic iron oxide nanoparticles for targeting cell surface receptors // Biomaterials. – 2004. – Vol. 25. – P. 3029-3040.
58. Kim D. K., Zhang Y., Voit, W., Rao, K. V., Muhammed M. Synthesis and characterization of surfactant-coated superparamagnetic monodispersed iron oxide nanoparticles // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2001. – Vol. 225. – P. 30-36.
59. Sjogren C. E., Briley-Saebo K., Hanson M., Johansson C. Magnetic characterization of iron oxides for magnetic resonance imaging // Magnetic Resonance in Medicine. – 1994. – Vol. 31. – P. 268-272.

60. Tartaj P., Morales M. P., Veintemillas-Verdaguer S., Gonzalez-Carreno T., Serna C. J. Synthesis, Properties and Biomedical Applications of Magnetic Nanoparticles // Handbook of Magnetic Materials. North-Holland: Elsevier. – 2006. – Vol. 403. – P. 67-78.
61. Kovář D., Malá A., Mlčochová J., Kalina M., Fohlerová Z., Hlaváček A., Farka Z., Skládal P., Starčuk Z., Jiřík R., Slabý O., Hubálek J. Preparation and Characterisation of Highly Stable Iron Oxide Nanoparticles for Magnetic Resonance Imaging // Journal of Nanomaterials. – 2017. – P. 8-15.
62. Mao B., Kang Z., Wang E., Lian S., Gao L., Tian C., Wang C. Synthesis, structural and transport properties of nanocrystalline  $\text{La}(1-x)\text{Ba}x\text{MnO}_3$ . ( $0.0 < x < 0.3$ ) powders // Materials Research Bulletin. – 2006. – Vol. 41. – P. 2226-2231.
63. Zhu H., Yang D., Zhu L. Hydrothermal growth and characterization of magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) thin films // Surface and Coatings Technology. – 2007. – Vol. 201. – P. 5870-5878.
64. Bhavani P., Rajababu C.H., Arif M.D., Subba Reddy V. I., Ramamanohar Reddy N. Synthesis of high saturation magnetic iron oxide nanomaterials via low temperature hydrothermal method // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2017. – Vol. 426. – P. 459-466.
65. Chen D., Xu R. Hydrothermal synthesis and characterization of nanocrystalline  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  powders // Materials Research Bulletin. – 1998. – Vol. 33. – P. 10-15.
66. Zheng Y. H., Cheng Y., Bao F., Wang Y. S. Synthesis and magnetic properties of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles // Materials Research Bulletin. – 2006. – Vol. 41. – P. 525-540.
67. Lam U. T., Mammucari R., Suzuki K., Foste N. R. Processing of iron oxide nanoparticles by supercritical fluids // Industrial and Engineering Chemistry Research. – 2008. – Vol. 47. – P. 599-614.

68. Tavakoli A., Sohrabi M., Kargari A. A review of methods for synthesis of nanostructured metals with emphasis on iron compounds // Chemical papers. – 2007. – Vol. 61. – P. 151-170.
69. Mittal H., Mishra S.B. Gum ghatti and  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  magnetic nanoparticles based nanocomposites for the effective adsorption of rhodamine B // Carbohydrate Polymers. – 2014. – Vol. 101. – P. 1255-1264.
70. Lemine O.M., Omri K., Zhang B., Mir E. L., Sajieddine M., Alyamani A., Bououdina M. Sol–gel synthesis of 8 nm magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) nanoparticles and their magnetic properties // Superlattices and Microstructures. – 2012. – Vol.52. – № 4. – P.793-799.
71. Wu W., He Q., Jiang C. Magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis and surface functionalization strategies // Nanoscale Research Letters. – 2008. – Vol. 3. – №11. – P. 397-420.
72. Monte F. D., Morales M. P., Levy D., Fernandez A., Ocana M., Roig A., Molins E, O’Grady K., Serna C. J. Formation of  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  isolated nanoparticles in a silica matrix // Langmuir. – 1997. – Vol. 13. – P.3627-3640.
73. Niznansky D., Rehspringer J. L., Drillon M. Preparation of magnetic nanoparticles ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) in the silica matrix // IEEE Transactions on Magnetics. – 1994. – Vol. 30. – P. 821-832.
74. Bentivegna F., Ferré J., Nyvlt M., Jamet J. P., Brun A., Visnovsky S., Urban R. Magnetically textured  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  nanoparticles in a silica gel matrix: optical and magnetooptical properties // Journal of Applied Physics. – 1998. – Vol. 83. – P.7776-7792.
75. Burtshhev V. A., Kalinin N. V., Luchinskii A. V. Electrical Explosion of Wires and Its Use in Electro-Physical Equipment // Energoatomizdat. – Moscow. – 1980.

76. Lerner M.I. Electric-explosion-produced nanopowders of inorganic materials: manufacture technology, characteristics, application fields. Dsc thesis. – 2007. – Tomsk.
77. Tikhonov D.V. Electro-explosive production of nanopowders of complex composition // PhD thesis. – 2000. – Tomsk.
78. Nazarenko O.B., Gromov A., Ilyin A., Pautova J., Tikhonov D. Metal Nanopowders: Production, Characterization, and Energetic Applications // Book: Metal Nanopowders. – 2006. – Tomsk. – P.67-78.
79. Kotov Yu. A. The electrical explosion of wire: A method for the synthesis of weakly aggregated nanopowders // Nanotechnologies in Russia. – 2009. – Vol.4. – № 7. – P. 415-424.
80. Kwon Y.S., Ilyin A.P., Tikhonov D.V., Yablunovsky G.V., An V.V. Characteristics of nanopowders produced by wire electrical explosion of tinned copper conductor in argon // Materials Letters. – 2008. – Vol. 62. – № 17-18. – P. 3143-3145.
81. Pervikov A., Lerner M. Mechanism of the formation of the structure and phase state of binary metallic nanoparticles obtained by the electric explosion of two wires made of different metals // Current Applied Physics. – 2017. – Vol. 17. – № 11. – P. 1494-1500.
82. Noor F., Wen D. Experimental study of thermal oxidation of nanoscale alloys of aluminium and zinc (nAlZn) // Journal of Physics and Chemistry of Solids. – 2015. – Vol. 85. – P. 188-196.
83. Lerner M., Shamanskii V., Savel'ev G., Yurmazova T. Chemical reactions between metals and active gases in the electric explosion of wires for the production of nanoparticles // Mendelev Communications. – 2001. – Vol. 11. – № 4. – P. 159-161.
84. Kwon Y.S., Kim J.S., Kim H.T., Lee H.K., Nazarenko O., Ilyin A. Preparation of nano-metal carbide powders by electric explosion of conductors in liquid

- hydrocarbons // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. – 2004. – Vol. 10. – №6. – P. 949-953.
85. Ильин А.П., Назаренко О.Б., Тихонов Д.В. Синтез карбидов металлов электрическим взрывом проводников // Вестник науки Сибири. – 2012. – № 3. – С. 80-88.
86. Aravinth S., Sankar B., Chakravarthi S.R., Sarathi R. Generation and characterization of nano-tungsten oxide particles by wire explosion process // Materials Characterization. – 2011. – Vol. 62. – № 2. – P. 248-255.
87. Ranjan P., Santhosh Kumar L., Suematsu H., Chakravarthy S.R., Jayaganthan R., Sarathi R. Thermodynamic analysis of ZnO nanoparticle formation by wire explosion process and characterization // Ceramics International. – 2017. – Vol. 43. – № 9. – P. 6709-6720.
88. Bagazeev A. V., Kotov Yu A., Medvedev A. I., Azarkevich E. I., Demina T. M., Murzakaev A. M., Timoshenkova O. R. Characteristics of ZrO<sub>2</sub> nanopowders produced by electrical explosion of wire // Nanotechnologies in Russia. – 2010. – Vol. 5. – № 9. – P. 656-664.
89. Lee Y. S., Bora B., Yap S. L., Wong C.S. Effect of ambient air pressure on synthesis of copper and copper oxide nanoparticles by wire explosion process // Current Applied Physics. – 2012. – Vol. 12. – № 1. – P. 199-203.
90. Nazarenko O. Nanopowders produced by electrical explosion of wires // Proceedings of European Congress of Chemical Engineering. – 2007. – P. 1-10.
91. Ali A., Zafar H., Zia M., Haq I., Rehman Phull A., Sarfraz Ali J., Hussain A. Synthesis, characterization, applications, and challenges of iron oxide nanoparticles // Nanotechnology, Science and Applications. – 2016. – Vol. 9. – P. 49-67.
92. Zhu N., Ji H., Yu P., Niu J., Bajwa U., Akram M.W., Udego I.O., Li H., Niu X. Surface Modification of Magnetic Iron Oxide Nanoparticles // Nanomaterials. – 2018. – Vol. 8. – № 10. – P. 1-27.

93. Ito A., Shinkai M., Honda H., Kobayashi T. Medical application of functionalized magnetic nanoparticles // Journal of Bioscience and Bioengineering. – 2005. – Vol. 100. – P. 1-11.
94. Berry C., Curtis A. Functionalisation of magnetic nanoparticles for applications in biomedicine // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2003. – Vol. 36. – №13. – P. 197-206.
95. Alcantara D., Lopez S., García-Martin M. L., Pozo D. Iron oxide nanoparticles as magnetic relaxation switching (MRSw) sensors: Current applications in nanomedicine // Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine. – 2016. – Vol. 12. – № 5. – P. 1253-1262.
96. Plank C., Scherer F., Schillinger U., Bergemann C., Anton M. Magnetofection: Enhancing and Targeting Gene Delivery with Superparamagnetic Nanoparticles and Magnetic Fields // Journal of Liposome Research. – 2003. – Vol. 13. – №1. – P. 29-32.
97. Xiang J-J., Tang J-Q., Zhu S-G., Nie X-M., Lu H-B., Shen S-R., Li X-L., Tang K., Zhou M., Li G-Y. IONP-PLL: a novel non-viral vector for efficient gene delivery // The Journal of Gene Medicine. – 2003. – Vol.5. – P. 803-817.
98. Zhang Y., Kohler N., Zhang M. Surface modification of superparamagnetic magnetite nanoparticles and their intracellular uptake // Biomaterials. – 2002. – Vol. 23. – P. 1553-1561.
99. Kurczewska J., Cegłowski M., Schroeder G. Preparation of multifunctional cascade iron oxide nanoparticles for drug delivery // Materials Chemistry and Physics. – 2018. – Vol. 211. – P. 34-41.
100. Luong T.T., Knoppe S., Bloemen M., Brullot W., Strobbe R., Locquet J.P., Verbiest T. Magnetothermal release of payload from iron oxide/silica drug delivery agents // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2016. – Vol. 416. – P. 194-19.

101. Thomas L. A., Dekker L., Kallumadil M., Southern P., Wilson M., Nair S. P., Pankhurst Q. A., Parkin I. P. Carboxylic acid-stabilised iron oxide nanoparticles for use in magnetic hyperthermia // *Journal of Materials Chemistry*. – 2009. – Vol. 19. – P. 6529-6535.
102. Zhang C., Liu T., Gao J., Su Y., Shi C. Recent development and application of magnetic nanoparticles for cell labeling and imaging // *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*. – 2010. – Vol. 10. – № 3. – P.193-202.
103. Sun W., Mignani S., Shen M., Shi X. Dendrimer-based magnetic iron oxide nanoparticles: their synthesis and biomedical applications // *Drug Discovery Today*. – 2016. – Vol. 21. – № 12. – P. 1873-1885.
104. Bloemen M., Denis C., Peeters M., De Meester L., Gils A., Geukens N., Verbiest T. Antibody-modified iron oxide nanoparticles for efficient magnetic isolation and flow cytometric determination of *L. pneumophila* // *Microchimica Acta*. – 2015. – Vol. 182. – P. 1439-1446.
105. Kumar R., Nayak M., Sahoo G. C., Pandey K., Sarkar M. C., Ansari Y., Das V.N.R., Topno R.K., Bhawna, Madhukar M., Das P. Iron oxide nanoparticles based antiviral activity of H<sub>1</sub>N<sub>1</sub> influenza A virus // *Journal of Infection and Chemotherapy*. – 2019. – Vol. 25. – № 5. – P. 325-329.
106. Alexiou C., Tietze R., Schreiber E., Jurgons R., Richter H., Trahms L., Rahn H., Odenbach S., Lyer S. Cancer therapy with drug loaded magnetic nanoparticles-magnetic drug targeting // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. – 2011. – Vol. 323. – № 10. – P. 404-1407.
107. Larson T. A., Bankson J., Aaron J., Sokolov K. Hybrid plasmonic magnetic nanoparticles as molecular specific agents for MRI/optical imaging and photothermal therapy of cancer cells // *Nanotechnology*. – 2007. – Vol. 18. – № 32. – P. 2-8.
108. Lodhia J., Mandarano G., Ferris N., Eu P., Cowell S. Development and use of iron oxide nanoparticles (Part 1): Synthesis of iron oxide nanoparticles for

- Magnetic Resonance Imaging [MRI]' // Biomedical Imaging and Intervention Journal – 2010. – Vol. 6. – № 2. – P. 1-11.
109. Xueling Z., Hongli Z., Zongyan C., Minbo L. Ultrasmall Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles for Magnetic Resonance Imaging Contrast Agent // Journal of Nanoscience and Nanotechnology. – 2014. – Vol. 14. – № 1. – P.210-220.
110. Leland J.K., Bard A.J. Photochemistry of colloidal semiconducting iron oxide polymorphs // Journal of Physical Chemistry. –1987. – V. 91. – № 19. – P.5076-5083.
111. Jeng H.A., Swanson J. Toxicity of metal oxide nanoparticles in mammalian cells // Journal of Environmental Science and Health, Part A. – 2006. – Vol. 41. – №12. – P. 2699-2711.
112. Kunzmann A., Andersson B., Vogt C., Feliu N., Ye F., Gabrielsson S., Toprak M. S., Buerki-Thurnherr T., Laurent S., Vahter M., Krug H., Muhammed M., Scheynius A., Fadeel B. Efficient internalization of silica-coated iron oxide nanoparticles of different sizes by primary human macrophages and dendritic cells // Toxicology and Applied Pharmacology. – 2011. – Vol. 253. – № 2. – P.81-93.
113. Paik S.Y., Kim J.S., Shin S. J., Ko S. Characterization, quantification, and determination of the toxicity of iron oxide nanoparticles to the bone marrow cells // International Journal of Molecular Sciences. – 2015. – Vol. 16. – № 9. – P.22243-22257.
114. Nitin N., La Conte L. E. W., Zurkiya O., Hu X., Bao G. Functionalization and peptide-based delivery of magnetic nanoparticles as an intracellular MRI contrast agent // Journal of Biological Inorganic Chemistry. – 2004. – Vol. 9. – P. 706-712.



115. Afkhami A., Saber-Tehrani M., Bagheri H. Modified maghemite nanoparticles as an efficient adsorbent for removing some cationic dyes from aqueous solution // *Desalination*. – 2010. – Vol. 263. – № 1-3. – P. 240-248.
116. Xu P., Zeng G., Huang D. L., Feng C. L., Hu S., Zhao M. H., Lai C., Wei Z., Huang C., Xie G. X., Liu Z. F. Use of iron oxide nanomaterials in wastewater treatment: A review // *Science of The Total Environment*. – 2012. – Vol. 424. – P. 1-10.
117. Bettini S., Santino A., Vallia L., Giancane G. A smart method for the fast and low-cost removal of biogenic amines from beverages by means of iron oxide nanoparticles // *RSC Advances*. – 2015. – Vol. 5. – P. 18167-18171.
118. Wu Z., Li W., Webley P., Zhao D. General and controllable synthesis of novel mesoporous magnetic iron oxide@carbon encapsulates for efficient arsenic removal // *Advanced Materials*. – 2012. – Vol. 24. – № 4. – P. 485-491.
119. Warner C. L., Chouyyok W., Mackie K. E., Neiner D., Saraf L. V., Droubay T. C., Warner M. G., Addleman R. S. Manganese doping of magnetic iron oxide nanoparticles: tailoring surface reactivity for a regenerable heavy metal sorbent // *Langmuir*. – 2012. – Vol. 28. – № 8. – P. 3931-3937.
120. Girginova P.I., Daniel-da-Silva A.L., Lopes C.B., Figueira P., Otero M., Amaral V.S., Pereira E., Trindade T. Silica coated magnetite particles for magnetic removal of  $Hg_2^+$  from water // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2010. – Vol. 345. – № 2. – P. 234-240.
121. Selvan S.T., Tan T.T.Y., Yi D.K., Jana N.R. Functional and multifunctional nanoparticles for bioimaging and biosensing // *Langmuir*. – 2010. – Vol. 26. – №14. – P. 11631-11641.
122. Zhong J., Cao C. Nearly monodisperse hollow  $Fe_2O_3$  nanoovals: synthesis, magnetic property and applications in photocatalysis and gas sensors // *Sensors and Actuators B: Chemical*. – 2010. – Vol. 145. – № 2. – P. 651-656.

123. Zhang X., Lei L. Preparation of photocatalytic Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> coatings in one step by metal organic chemical vapor deposition // *Applied Surface Science*. – 2008. – Vol. 254. – № 8. – P. 2406-2412.
124. Saif S., Tahir A., Chen Y. Green synthesis of iron nanoparticles and their environmental applications and implications // *Nanomaterials*. – 2016. – Vol. 6. – № 11. – P. 1-56.
125. Buccolieri A., Serra A., Maruccio G., Monteduro A.G., Padmanabhan S.K., Licciulli A., Giancane G. Synthesis and characterization of mixed iron-manganese oxide nanoparticles and their application for efficient nickel ion removal from aqueous samples // *Journal of Analytical Methods in Chemistry*. – 2017. – Vol.1. – P. 1-9.
126. Tang S. C. N., Lo I. M. C. Magnetic nanoparticles: Essential factors for sustainable environmental applications // *Water Research*. – 2013. – Vol. 47. – P. 2613-2632.
127. Khot L. R., Sankaran S., Maja J. M., Ehsani R., Schuster E. W. Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: A review // *Crop Protection*. – 2012. – Vol. 35. – P. 64-70.
128. Navarro E., Baun A., Behra R., Hartmann N. B., Filser J., Miao A-J., Quigg A., Santschi P. H., Sigg L. Environmental behavior and ecotoxicity of engineered nanoparticles to algae, plants, and fungi // *Ecotoxicology*. – 2008. – Vol. 17. – P. 372-386.
129. Valdiglesias V., Fernandez-Bertolez N., Kiliç G., Costa C., Costa S., Fraga S., Bessa M. J., Pasaro E., Texeira J. P., Laffon B. Are iron oxide nanoparticles safe? Current knowledge and future perspectives // *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. – 2016. – Vol. 38. – P. 53-63.
130. Podila R., Brown J. Toxicity of engineered nanomaterials: a physicochemical perspective // *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*. – 2013. – Vol. 27. – P. 50-55.

131. Poizot P., Laruelle S., Grugeon S., Dupont L., Tarascon J.M. Nano-sized transition-metaloxides as negative-electrode materials for lithium-ion batteries // *Nature*. – 2000. – Vol. 407. – № 6803. – P. 496-499.
132. Hang B. T., Doi T., Okada S., Yamaki J. Effect of carbonaceous materials on electrochemical properties of nano-sized Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-loaded carbon as a lithium battery negative electrode // *Journal of Power Sources*. – 2007. – Vol. 174. – № 2. – P. 493-500.
133. Kataoka R., Kuratani K., Kitta M., Takeichi N., Kiyobayashi T., Tabuchi M. Influence of the preparation methods on the electrochemical properties and structural changes of alpha-sodium iron oxide as a positive electrode material for rechargeable sodium batteries // *Electrochimica Acta*. – 2015. – Vol. 182. – P. 871-877.
134. Nora N. M., Razakab K. A., Lockman Z. Physical and Electrochemical Properties of Iron Oxide Nanoparticles-modified Electrode for Amperometric Glucose Detection // *Electrochimica Acta*. – 2017. – Vol. 248. – P. 160-168.
135. Sabzoi N., Siddiqui M.T.H., Mujawar M. N., Baloch H. A., Abdullah E. C., Mazari S., Griffin G., Srinivasan M. P., Tanksale A. Iron Oxide Nanomaterials for the Removal of Heavy Metals and Dyes from Wastewater // *Nanoscale Materials in Water Purification*. – 2018. – Vol. 17. – P. 447-472.
136. Dave P., Chopda L.V. Application of Iron Oxide Nanomaterials for the Removal of Heavy Metals // *Journal of Nanotechnology*. – 2014. – Vol. 1. – P. 1-14.
137. Pang Y., Zeng G.M., Tang L., Zhang Y., Liu Y.Y., Lei X.X., Wu M.S., Li Z., Liu C. Cr(VI) reduction by *Pseudomonas aeruginosa* immobilized in a polyvinyl alcohol/sodium alginate matrix containing multi-walled carbon nanotubes // *Bioresource Technology*. – 2011. – Vol. 102. – P. 10733-10736.
138. Hu J., Lo M.C.I., Chen G.H. Performance and mechanism of chromate(VI) adsorption by  $\delta$ -FeOOH-coated maghemite ( $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanoparticles // *Separation and Purification Technology*. – 2007. – Vol. 58. – № 1. – P. 76-82.

139. Ambashta R.D., Sillanpää M. Water purification using magnetic assistance: a review // *Journal of Hazardous Materials*. – 2010. – Vol. 180. – № 1–3. – P. 38-49.
140. Huang S.H., Chen D.H. Rapid removal of heavy metal cations and anions from aqueous solutions by an amino-functionalized magnetic nano-adsorbent // *Journal of Hazardous Materials*. – 2009. – Vol. 163. – № 1. – P. 174-179.
141. White B.R., Stackhouse B.T., Holcombe J.A. Magnetic  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles coated with poly-L-cysteine for chelation of As (III), Cu (II), Cd (II), Ni (II), Pb (II) and Zn (II.) // *Journal of Hazardous Materials*. – 2009. – Vol. 161. – №2-3. – P. 848-853.
142. Mahdavian A.R., Mirrahipi M.A.S. Efficient separation of heavy metal cations by anchoring polyacrylic acid on superparamagnetic magnetite nanoparticles through surface modification // *Chemical Engineering Journal*. – 2010. – Vol.159. – № 1-3. – P. 264-271.
143. Li X.Q., Zhang W.X. Iron nanoparticles: the core-shell structure and unique properties for Ni(II) sequestration // *Langmuir*. – 2006. – Vol. 22. – P.4638-4642.
144. Pradeep T. Noble metal nanoparticles for water purification: a critical review // *Thin Solid Films*. – 2009. – Vol. 517. – № 24. – P. 6441-6478.
145. Jang J. S., Kim H. G., Reddy V. R., Bae S.W., Ji S. M., Lee J. S. Photocatalytic water splitting over iron oxide nanoparticles intercalated in HTiNb(Ta)O<sub>5</sub> layered compounds // *Journal of Catalysis*. – 2005. – Vol. 231. – №1. – P.213-222.
146. Wu J., Uchida S., Fujishiro Y., Yin, S., Sato T. Synthesis and photocatalytic properties of HNbWO<sub>6</sub>/TiO<sub>2</sub> and HNbWO<sub>6</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposites // *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. – 1999. – Vol. 128. – № 1-3. – P. 129-133.

147. Bandara J., Klehm U., Kiwi J. Raschig rings–Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite photocatalyst activate in the degradation of 4-chlorophenol and Orange II under daylight irradiation // *Applied Catalysis B: Environmental*. – 2007. – Vol.76. – № 1-2. – P. 73-81.
148. Zia-ur-Rehman M., Naeem A., Khalid H., Rizwan M., Ali S., Azhar M., Responses of Plants to iron oxide nanoparticles // *Nanomaterials in Plants, Algae, and Microorganisms concepts and controversies*. – 2018. – Vol. 1. – P. 221-238.
149. Wang H., Kou X., Pei Z., Xiao J.Q., Shan X., Xing B. Physiological effects of magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) nanoparticles on perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and pumpkin (*Cucurbita mixta*) plants // *Nanotoxicology*. – 2011. – Vol. 5. – № 1. – P. 30-42.
150. Liu R., Zhang H., Lal R. Effects of stabilized nanoparticles of copper, zinc, manganese, and iron oxides in low concentrations on lettuce (*Lactuca sativa*) seed germination: nanotoxicants or nanonutrients? // *Water, Air, & Soil Pollution*. – 2016. – Vol. 227. – №.1. – P. 1-14.
151. Elmer W. H., White J. C. The use of metallic oxide nanoparticles to enhance growth of tomatoes and eggplants in disease infested soil or soilless medium // *Environmental Science: Nano*. – 2016. – Vol. 3. – P. 1072-1079.
152. Lee C. W., Mahendra S., Zodrow K., Li D., Tsai Yu-C., Braam J., Pedro J.J. Developmental phytotoxicity of metal oxide nanoparticles to *Arabidopsis thaliana* // *Environmental Toxicology and Chemistry*. – 2010. – Vol. 29. – № 3. – P. 669-675.
153. Alidoust D., Isoda A. Effect of  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles on photosynthetic characteristic of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.): foliar spray versus soil amendment // *Acta Physiologiae Plantarum*. – 2013. – Vol. 35. – P. 3365-3375.

154. Li J., Hu J., Ma C., Wang Y., Wu C., Huang J., Xing B. Uptake, translocation and physiological effects of magnetic iron oxide ( $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanoparticles in corn (*Zea mays L.*) // Chemosphere. – 2016. – Vol. 159. – P. 326-334.
155. Li J., Chang P. R., Huang J., Wang Y., Yuan H., Ren H. Physiological Effects of Magnetic Iron Oxide Nanoparticles Towards Watermelon // Journal of Nanoscience and Nanotechnology. – Vol. 13. – № 8. – P. 5561-5567.
156. Iannone M. F., Groppa M. D., Sousa M. E., Raap M. B. F., Benavides M. P. Impact of magnetite iron oxide nanoparticles on wheat (*Triticum aestivum L.*) development: Evaluation of oxidative damage // Environmental and Experimental Botany. – 2016. – Vol. 131. – P. 77-88.
157. Predoi D., Ghita R.V., Iconaru S. L., Cimpeanu C. L., Raita S. M. Application of Nanotechnology Solutions in Plants Fertilization // Hydrocultural and Hydroponics Systems. –2020. – P. 1-24.
158. Barhoumi L., Oukarroum A., Taher L.B., Smiri L.S., Abdelmelek H., Dewez D. Effects of superparamagnetic iron oxide nanoparticles on photosynthesis and growth of the aquatic plant *Lemna gibba* // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. – 2015. – Vol. 68. – № 3. – P. 510-520.
159. Hu J., Guo H., Li J., Gan Q., Wang Y., Xing B. Comparative impacts of iron oxide nanoparticles and ferric ions on the growth of *Citrus maxima* // Environmental Pollution. – 2017. – Vol. 221. – P. 199-208.
160. Tombuloglu H., Slimani Y., Tombuloglu G., Almessiere M., Baykal A. Uptake and translocation of magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) nanoparticles and its impact on photosynthetic genes in barley (*Hordeum vulgare L.*) // Chemosphere. – 2019. – Vol. 226. – P. 110-122.
161. Rico C.M., Morales M.I., McCreary R., Castillo-Michel H., Barrios A.C., Hong J., Tafoya A., Lee W.Y., Varela-Ramirez A., Peralta-Videa J.R., Gardea-Torresdey J.L. Cerium oxide nanoparticles modify the antioxidative stress enzyme activities and macromolecule composition in rice seedlings //

- Environmental Science and Technology. – 2013. – Vol. 47. – № 24. – P. 14110-14118.
162. Khan M.N., Mobin M., Abbas Z.K., AlMutairi K.A., Siddiqui Z.H. Role of nanomaterials in plants under challenging environments // Plant Physiology and Biochemistry. – 2017. – Vol. 110. – P. 194-209.
163. Buyukhatipoglu K., Clyne A. M. Superparamagnetic iron oxide nanoparticles change endothelial cell morphology and mechanics via reactive oxygen species formation // Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials. – 2011. – Vol. 96A. – № 1. – P. 186-195.
164. Martínez-Fernández D., Vítková M., Bernal M.P., Komárek M. Effects of nanomagnetite on trace element accumulation and drought response of *Helianthus annuus* L. in a contaminated mine soil // Water, Air, & Soil Pollution. – 2015. – Vol. 226. – P. 101-109.
165. Soliman A.S., El-feky S.A., Darwish E. Alleviation of salt stress on *Moringa peregrina* using foliar application of nanofertilizers // Journal of Horticulture and Forestry. – 2015. – Vol. 7. – P. 36-47.
166. Mimmo T., Del Buono D., Terzano R., Tomasi N., Vigani G., Crecchio C., Pinton R., Zocchi G., Cesco S. Rhizospheric organic compounds in the soil–microorganism–plant system: their role in iron availability // European Journal of Soil Science. – 2014. – V. 65. – № 5. – P.629-642.
167. Bindraban P.S., Dimkpa C., Nagarajan L., Roy A., Rabbinge R. Revisiting fertilisers and fertilisation strategies for improved nutrient uptake by plants // Biology and Fertility of Soils. – 2015. – Vol. 51. – P. 897-911.
168. Ye L., Li L., Wang L., Wang S., Li S., Du J., Zhang S., Shou H. MPK<sub>3</sub>/MPK<sub>6</sub> are involved in iron deficiency-induced ethylene production in *Arabidopsis* // Frontiers in Plant Science. – 2015. – Vol. 6. – P. 1-10.
169. Gui X., He X., Ma Y.H., Zhang P., Li Y., Ding Y., Yang K., Li H., Rui Y., Chai Z., Zhao Y., Zhang Z. Quantifying the distribution of ceria nanoparticles in

- cucumber roots: the influence of labeling // RSC Advances. – 2015. – Vol. 5. – P. 4554-4560.
170. Shuai X., Yost R.S. Kinetics of ion-pair formation on variable-charge minerals using the frequency domain method // Soil Science Society of America Journal. – 2010. – Vol. 74. – № 5. – P.1568-1576.
  171. Vasconcelos M.W., Grusak M.A. Morpho-physiological parameters affecting iron deficiency chlorosis in soybean (*Glycine max L.*) // Plant and Soil. – 2014. – Vol. 374. – № 1-2. – P.161-172.
  172. Lucini L., Bernardo L. Comparison of proteome response to saline and zinc stress in lettuce // Frontiers in Plant Science. – 2015. – Vol. 6. – P. 1-12.
  173. Li W., Lee S. S., Anjuliee M. M., Liu D., Wu J., Hinton C. H., Abriola L. M., Pennell K. D., Fortner J. D. Aqueous Aggregation Behavior of Engineered Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles: Effects of Oxidative Surface Aging // Environmental Science & Technology. – 2016. – Vol. 50. – № 23. – P.12789-12798.
  174. Siva G.V., Benita L. F. J. Synthesis, characterization of iron oxide nanoparticles and their applications as nano-fertilizers on some quality characters of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) // International Journal of Scientific Research in Science and Technology. – 2016. – Vol. 2. – № 3. – P.11-18.
  175. Satoh N., Yamamoto K. Chapter 7 - Environmental and safety issues with nanoparticles // Nanoparticle Technology Handbook (Third Edition). – 2018. – P. 365-395.
  176. Wu X., Tan Y., Mao H., Zhang M. Toxic effects of iron oxide nanoparticles on human umbilical vein endothelial cells // Internation Journal of Nanomedicine. – 2010. – V.5. – P.385-399.
  177. Li Y., Liu J., Zhong Y., Zhang J., Wang Z., Wang L., An Y., Lin M., Gao Z., Zhang D. Biocompatibility of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@Au composite magnetic nanoparticles in



- vitro and in vivo // *International Journal of Nanomedicine*. – 2011. – Vol. 6. – P.2805-2819.
178. He S., Feng Y., Ni J., Sun Y., Xue L., Feng Y., Yu Y., Lin X., Yang L. Different responses of soil microbial metabolic activity to silver and iron oxide nanoparticles // *Chemosphere*. – 2016. – V. 147. – P. 195-202.
  179. Schindler M. and Jr Hochella M. F. Nanomineralogy as a new dimension in understanding elusive geochemical processes in soils: The case of low-solubility-index elements // *Geology*. – 2016. – Vol. 44. – P. 515-518.
  180. Vindedahl A. M., Strehlau J. H., Arnold W. A., Penn R. L. Organic matter and iron oxide nanoparticles: aggregation, interactions, and reactivity // *Environmental Science: Nano*. – 2016. – Vol. 3. – P. 494-505.
  181. Demangeat E., Pédrot M., Dia A., Bouhnik-le-Coz M., Grasset F., Hanna K., Kamagatec M., Cabello-Hurtado F. Colloidal and chemical stabilities of iron oxide nanoparticles in aqueous solutions: the interplay of structural, chemical and environmental drivers // *Environmental Science: Nano*. – 2018. – №4. – P. 992-1001.
  182. Nowack B., Bucheli T. D. Occurrence, behavior and effects of nanoparticles in the environment // *Environmental Pollution*. – 2007. – Vol. 150. – P.5-22.
  183. Auffan M., Rose J., Bottero J-Y, Lowry G. V., Jolivet J-P., Wiesner M-R. Towards a Definition of Inorganic Nanoparticles from an Environmental, Health and Safety Perspective // *Nature Nanotechnology*. – 2009. – Vol. 4. – P.634-641.
  184. Louie S.M., Ma R., Lowry G. V. Chapter 2 - Transformations of Nanomaterials in the Environment // *Frontiers of Nanoscience*. – 2014. – Vol. 7. – P. 55-87.
  185. Handy R. D., von der Kammer F., Lead J. R., Hasselov M., Owen R., Crane M. The ecotoxicology and chemistry of manufactured nanoparticles // *Ecotoxicology*. – 2008. – Vol.17. – P.287-314.

186. Kanel S.R., Nepal D., Manning B., Choi H. Transport of surface-modified iron nanoparticle in porous media and application to arsenic(III) remediation // *Journal of Nanoparticle Research*. – 2007. – Vol. 9. – № 5. – P. 725-735.
187. Tiraferri A., Chen K.L., Sethi R., Elimelech M. Reduced aggregation and sedimentation of zero-valent iron nanoparticles in the presence of guar gum // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2008. – Vol. 324. – № 1-2. – P. 71-79.
188. Hyeon T., Lee S.S., Park J., Chung Y., Na H.B. Synthesis of highly crystalline and monodisperse maghemite nanocrystallites without a size-selection process // *Journal of the American Chemical Society*. – 2001. – Vol. 123. – № 51. – P.12798-12801.
189. Harris L., Goff J., Carmichael A., Riffle J., Harburn J., Pierre T.G.S., Saunders M. Magnetite nanoparticle dispersions stabilized with triblock copolymers // *Chemistry of Materials*. – 2003. – Vol. 15. – № 6. – P. 1367-1377.
190. Batalha I.L., Hussain A., Roque A. Gum arabic coated magnetic nanoparticles with affinity ligands specific for antibodies // *Journal of Molecular Recognition*. – 2010. – Vol. 23. – № 5. – P. 462-471.
191. Sung Y.K., Ahn B.W., Kang T.J. Magnetic nanofibers with core ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticle suspension)/sheath (poly ethylene terephthalate) structure fabricated by coaxial electrospinning // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. – 2012. – Vol. 324. – № 6. – P. 916-922.
192. Boyer C., Whittaker M.R., Bulmus V., Liu J.Q., Davis T.P. The design and utility of polymer-stabilized iron-oxide nanoparticles for nanomedicine applications // *NPG Asia Materials*. – 2010. – Vol. 2. – P. 23-30.
193. Dias A.M.G.C., Hussain A., Marcos A.S., Roque A.C.A. A biotechnological perspective on the application of iron oxide magnetic colloids modified with polysaccharides // *Biotechnology Advances*. – 2011. – Vol. 29. – № 1. – P.142-155.

194. Lin C.L., Lee C.F., Chiu W.Y. Preparation and properties of poly (acrylic acid) oligomer stabilized superparamagnetic ferrofluid // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2005. – Vol. 291. – № 2. – P. 411-420.
195. Chen K.L., Mylon S.E., Elimelech M. Enhanced aggregation of alginate-coated iron oxide (hematite) nanoparticles in the presence of calcium, strontium, and barium cations // *Langmuir*. – 2007. – Vol. 23. – № 11. – P. 5920-5928.
196. Schrick B., Hydutsky B. W., Blough J. L., Mallouk T. E. Delivery Vehicles for Zerovalent Metal Nanoparticles in Soil and Groundwater // *Chemistry of Materials*. – 2004. – Vol. 16. – № 11. – P. 2187-2193.
197. Chekli L., Phuntsho S., Roy M., Lombi E., Donner E., Shon H. K. Assessing the aggregation behaviour of iron oxide nanoparticles under relevant environmental conditions using a multi-method approach // *Water Research*. – 2013. – Vol. 47. – № 13. – P. 4585-4599.
198. Guo H., Barnard A. S. Naturally occurring iron oxide nanoparticles: morphology, surface chemistry and environmental stability // *Journal of Materials Chemistry A*. – 2013. – Vol. 1. – P. 27-42.
199. Baalousha M., Manciu A., Cumberland S., Kendall K., Lead J. R. Aggregation and surface properties of iron oxide nanoparticles: Influence of pH and natural organic matter // *Nanomaterials in the Environment*. – 2008. – V.27. – № 9. – P. 1875-1882.
200. Лыскова И. В., Лыскова Т. В., Мазурова С. В. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зерна яровой пшеницы сорта Ирень // *Научно-производственный журнал «Зернобобовые и крупяные культуры»*. – 2018. - №4(28). – С.141-147.
201. Пшеница яровая сорт «Ирень». Режим доступа: <https://www.apk-kolos.ru/pshenica-jarovaja/c601.html>.
202. Герейханова А.Ю. Продуктивность некоторых сортов и сортообразцов твердой пшеницы в условиях равнинной зоны Дагестана // *Сборник трудов*

Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы агропромышленного комплекса в современных условиях развития страны» (г. Махачкала, Россия, 26-27.10. 2016). – 2016. – С.31-33.

203. Яровая твердая пшеница Харьковская-46. Режим доступа: <https://www.ckofr.com/selhoznauki/91-yarovaya-tverdaya-pshenica-harkovskaya46>.
204. Курзина И.А., Годымчук А.Ю., Качаев А.А. Рентгенофазовый анализ нанопорошков. Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Отрасли нанотехнологий. Области применения наноматериалов». – Томск: ТПУ. – 2010.
205. Fujii T., Alders D., Voogt F.C., Hibma T., Thole B.T., Sawatzky G.A. In situ RHEED and XPS studies of epitaxial thin  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(0001) films on sapphire // Surface Science. – 1996. – Vol. 366. – №3. – P. 579-586.
206. Prakash R., Fanslau K., Ren Sh., Mandal T. K., Kübel Ch., Hahn H., Fichtner M., Beilstein Journal of Nanotechnology. – 2013. – Vol. 4. – P. 699-704.
207. Chambers S.A., Joyce S. A. Surface termination, composition and reconstruction of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (001) and  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (001) // Surface Science. – 1999. – Vol. 420. – № 2-3. – P. 111-122.
208. Mushtaq D., Ansari S. G., Rizwan W., Kim Y. S., Shin H-S. The synthesis of maghemite and hematite ( $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanospheres. – 2007. – Vol. 534. – P.157-160.
209. Kaur I., Ellis L-J., Romer I., Tantra R., Carriere M., Allard S., Mayne-L'Hermite M., Minelli C., Unger W., Potthoff A., Rades S., Valsami-Jones E. Dispersion of nanomaterials in aqueous media: towards protocol optimization // Journal of Visualized Experiments. – 2017. – Vol.130. – P.560-574.
210. О надзоре за продукцией, полученной с использованием нанотехнологий и содержащей наноматериалы. Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. – 2007. – №54. – С.1-4.

211. ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения). – М.: Министерство природных ресурсов РФ. – 2003. – С. 1-15.
212. ГОСТ Р 12.0.001-2013 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Основные положения. – М.: Стандартинформ. – 2013. – С. 1-6.
213. ГОСТ Р 56748.1-2015/ISO/TS 12901-1:2012 Нанотехнологии. Наноматериалы. Менеджмент риска. Общие положения. – М.: Стандартинформ. – 2015. – С. 1-36.
214. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018). – М.: Российская газета. – N. 256. – 2001. – С. 1-494.
215. ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. – М.: Издательство стандартов. – 1990. – С. 1-3.
216. Агошков А. И., Трегубенко А. Ю., Вершкова Т. И. Учебное пособие: Медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности // Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ). – М.: Проспект. – 2015. – С. 153-154.
217. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Госкомсанэпиднадзора России. – 1996. – N 21. – С. 1-11.
218. ГОСТ 12.4.113-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Работы учебные лабораторные. Общие требования безопасности. – М.: Издательство стандартов. – 2003. – С. 1-7.
219. ГОСТ 12.1.006-84 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электромагнитные поля радиочастот. – М.: ИПК Издательство стандартов. – 2002. – С. 1-9.

220. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. – М.: Информационно-издательский центр. – 1997. – С. 1-9.
221. СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585-10 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. – М.: Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. – N. 16. – 2010. – С. 1-5.
222. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. – М.: Официальный сайт Минстроя России [www.minstroyrf.ru](http://www.minstroyrf.ru). – 2020. – С. 1-92.
223. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ. – 2019. – С. 1-50.
224. СП 51.13330.2011 Защита от шума. – М.: Минрегион России, ОАО "ЦПП". – 2010. – С. 1-50.
225. ГОСТ 2184-2013 Кислота серная техническая. Технические условия (с Поправками ИУС N 4-2019). – М.: Стандартинформ. – 2014. – С. 1-74.
226. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ. – 2007. – С. 1-10.
227. ГОСТ 2652-78 Калия бихромат технический. Технические условия. – М.: Издательство стандартов. – 1992. – С. 1-19.
228. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1). – М.: Стандартинформ. – 2008. – С. 1-107.
229. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Стандартинформ. – 2019. – С. 1-33.
230. Трифонова Т.А., Ширкин Л.А. Экологическая безопасность наночастиц, наноматериалов и нанотехнологий. // Учебное пособие: изд-во Владимирский государственный университет. – 2009. – С. 64 -78.

231. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1). – М.: Стандартинформ. – 2008. – С. 1-107.
232. ГОСТ ИСО 14644-1-2002. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. – М.: ИПК Издательство стандартов. – 2003. – С. 1-38.
233. ГОСТ 17.1.3.07–82. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод. – М.: Стандартинформ. – 2010. – С. 1-13.
234. ГОСТ 17.1.3.13–86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений. – М.: Стандартинформ. – 2010. – С. 1-3.
235. ГН 2.1.5.2280-07 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. – М.: Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. – N. 50. – 2007. – С. 8-15.
236. МУ 2.1.7.1185-03. Почва. Очистка населенных мест. Отходы производства и потребления. Санитарная охрана почвы. Сбор, транспортирование, захоронение асбестсодержащих отходов. Методические указания. – М.: ФЦ госсанэпиднадзора Минздрава России. – 2003. – С.1-5.
237. ГОСТ Р 52105-2003 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация и методы переработки ртутьсодержащих отходов. Основные положения. – М.: ИПК Изд-во стандартов. – 2003. – С.1-12.
238. Постановление Правительства РФ "Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде". – 2010. – № 681. – С. 1-8.

239. ГОСТ Р 55090-2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Рекомендации по утилизации отходов бумаги. – М.: Стандартинформ. – 2019. – С. 1-7.
240. ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях. – М.: Министерство природных ресурсов РФ. – 2003. – С.1-8.
241. Методические рекомендации по обработке и анализу данных, необходимых для принятия решений в области охраны окружающей среды и здоровья населения. – М.: Министерство здравоохранения РФ. – 2001. – № 11-3/61-09. – С. 1-12.



## ПРИЛОЖЕНИЕ 1. МИКРОФОТОГРАФИИ ОБРАЗЦОВ

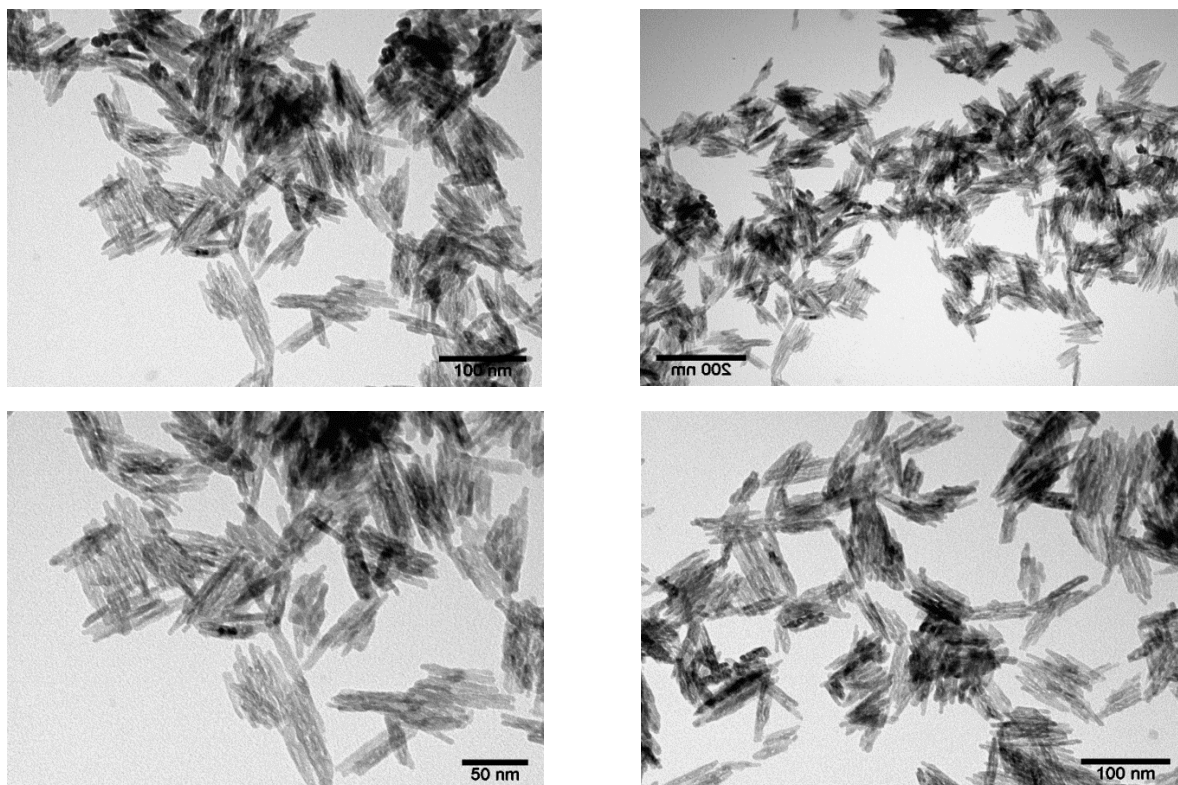


Рисунок. П1.1. Микрофотографии нанночастиц  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -18.

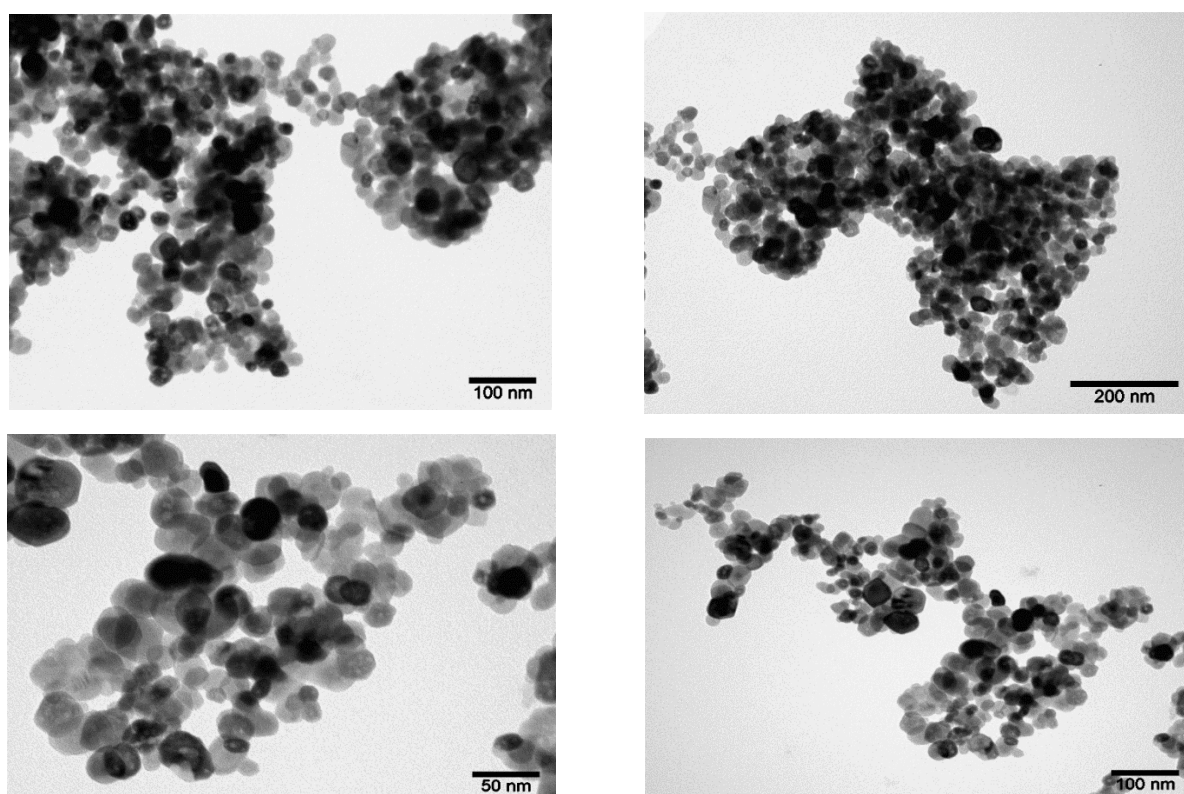


Рисунок. П1.2. Микрофотографии нанночастиц  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -38.

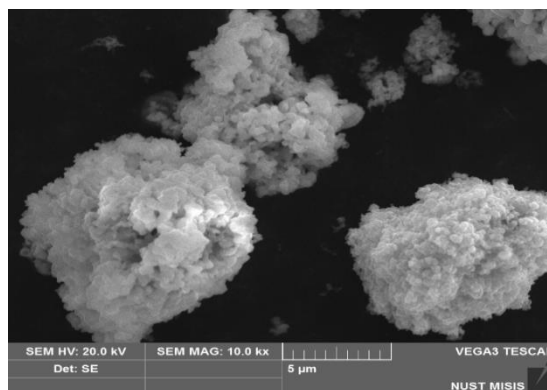
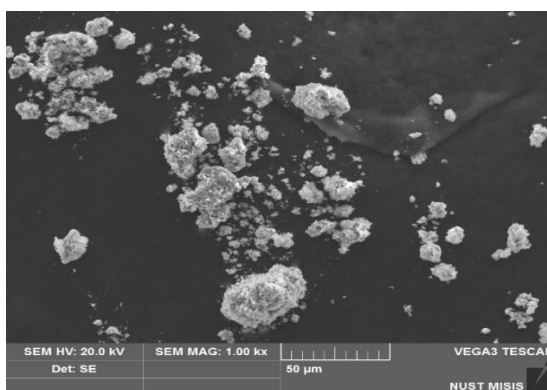
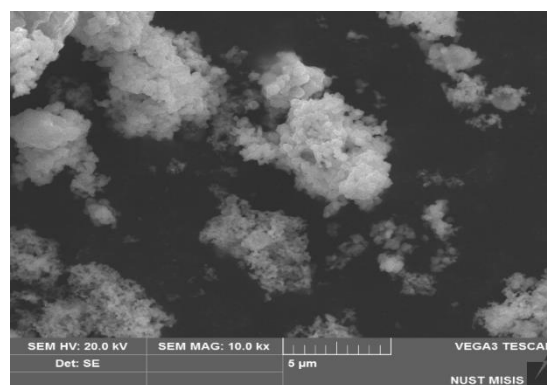
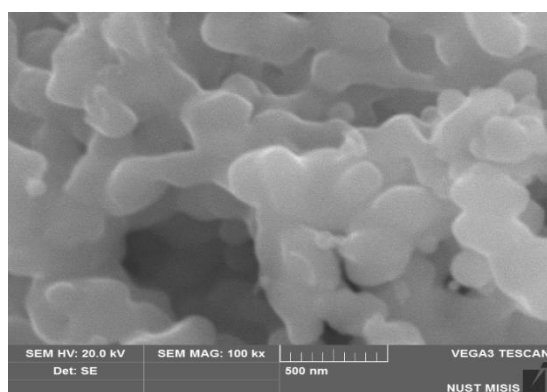


Рисунок. П1.3. Микрофотографии нанночастиц  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -80.

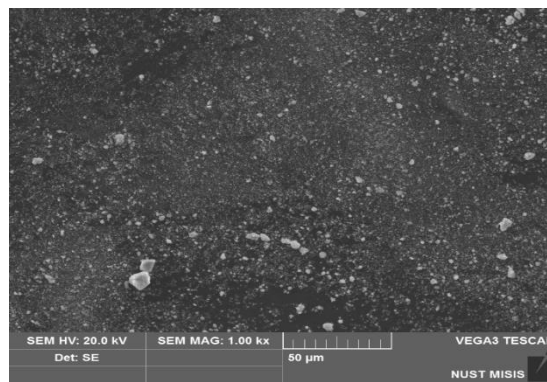
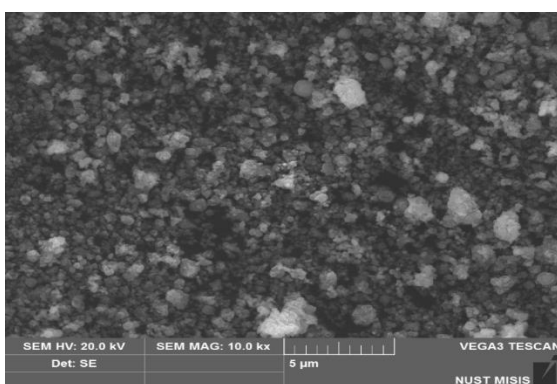
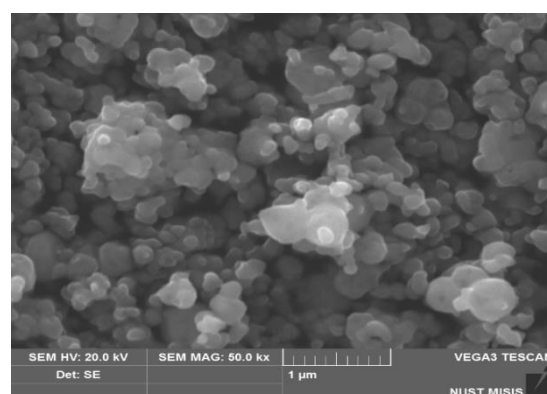
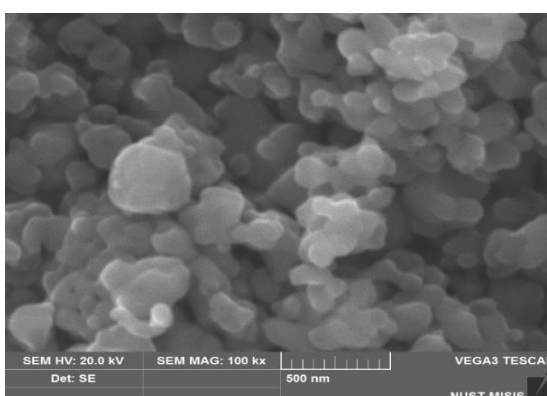


Рисунок. П1.4. Микрофотографии нанночастиц  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -600.

**Study of the physicochemical and biological properties of iron oxide nanoparticles**

**1. Introduction**

The rapidly developing production and use of nanoparticles creates the conditions for the release of nanoparticles into the environment. The small size, developed surface, and high reactivity make nanoparticles potentially dangerous for living organisms and plants, until the opposite is proved. Therefore, the determination of the ecotoxicity of nanomaterials is one of the important tasks of modern materials science, chemistry, biology and medicine.

In the literature, there are data on the great prospects for introducing iron oxide nanoparticles into practice, but more and more information about their stimulating and toxic properties. Due to the fact that toxicity depends on a large number of factors (size, surface composition, shape, concentration, etc.) and in spite of the high relevance of studies, the published data nowadays are extremely inadequate to classify iron oxide nanoparticles as hazardous or safe materials. One of the most common approaches to assess the specificity of the nanoparticle effects and dose-dependent effects is the determination of phytotoxicity.

**Purpose of the graduation qualification work** is the determination of the influence of the concentration and size of iron oxide nanoparticles on the morphometric properties of wheat seedlings.

**2. Definitions and classification of nanoparticles**

Nanomaterials belong to a colloidal system of particles with sizes from 10 to 1000 nm, which has unique properties, such as size-dependent properties, a high surface to volume ratio, and promising optical properties. The main categories of nanomaterials are carbon, semiconductor, metal oxides, lipids, zero-valent metals,

quantum dots, nanopolymers, and dendimers, with various kinds of functions such as nanofibres, nanowires and nanosheets.

The nanotechnology process began with the generation, manipulation and deployment of nanomaterials representing an area of significant promise for a wide range of applications. Nanotechnology has become a dynamically developing industry with many applications in the field of energy, materials, computer chips, manufacturing, healthcare and medical diagnostics. Products derived from nanotechnology are known as nanomaterials. It is believed that currently more than 800 nanomaterials are available on the market, and their number is expected to increase in the next few years.

Nanotechnology increased its investment for various products from 4 to 224 billion dollars for a short period from 2005 to 2009, while nanoparticles of iron oxide are the supporting elements of this industry. The reason for this is the inventive use of Iron oxide nanoparticles in all fields and technologies. Saying, that the estimate of the production of nanoparticles for various purposes will increase to 58,000 tons by 2020, and most of this will be iron oxide nanoparticles.

The efficiency of bulk iron oxides in providing iron for plants has increased many times due to their conversion to nanosized particles (1–100 nm in size). Thus, the small size of the iron oxide nanoparticles (1–100 nm) along with other vital properties distinguish the iron oxide nanoparticles from other nanoparticles, and they make their way in the development of agriculture, as well as in other industries. This is due to the unique properties of iron oxide nanoparticles, such as quantum confinement, high surface energy, an increased ratio of surface area to volume, and a number of catalytic properties. Thus, the technology of iron oxide nanoparticles has opened up new opportunities for the production of economical and environmentally friendly fertilizers. They have more potential for increasing yields and production because of increased nutrient utilization due to the slow release of nutrients, less salt stress for the roots by reducing the accumulation of soluble salts in the root zone,

minimizing costs and reducing nutrient loss by limiting their transition from the absorbed form to the discarded form, thus controlling environmental pollution. The useful role of iron oxide nanoparticles in stimulating some enzymes, such as catalase, cytochrome oxidase and peroxidase, and an auxiliary role of iron oxide nanoparticles in increasing plant resistance to stress nutrition by providing factors being the components of many antioxidants have been pointed out.

### **3. Nanoparticles**

#### ***3.1 Definition and classification of nanoparticles***

Nanopowders are a variety of nanomaterials and are a combination of individual solids in contact (nanoparticles or their aggregates) with sizes from 1 to 100 nm in all three dimensions.

Nanoparticles - are isolated solid-phase objects that have a clearly defined boundary with the environment, the dimensions of which in all measurements are less than 100 nm. One of the main reasons for the change in the physical and chemical properties of small particles as their size decreases is the increase of the relative fraction of surface atoms in them that are in different conditions than the atoms of the bulk phase.

Depending on the size of the particles, it is customary to separate into finely divided and ultrafine. Fine particles have a size from 100 to 2500 nm, while the size range of ultrafine particles lies in the range from 1 to 100 nm. Ultrafine particles ranging in size from 1 to 100 nm are also called nanoparticles. The choice of this size - 100 nm as the boundary is due to the fact that with a decrease in particle size below this boundary, a significant change in the physicochemical properties of materials begins. Due to an increase in the surface energy of such particles, the strength and electromagnetic properties of materials sharply change. Nanoclusters have a size in at least one direction from 1 to 10 nm and a narrow size distribution.

#### ***3.2 Classification of iron oxide nanoparticles***

Iron oxide nanoparticles have attracted great attention due to their excellent magnetic properties and applications in modern science. Despite the fact that 16 phases of iron oxides, hydroxides, and oxyhydroxides of nanosized form are known to date, the most common ones are magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), hematite ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) and maghemite ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ).

Magnetite is a black magnetic mineral and is also called ‘iron oxide’ (II, III) or ‘divalent ferrite’. The molecular formula of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  can also be written as  $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ , which consists of wustite ( $\text{FeO}$ ) and hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). It has the strongest magnetism among all the natural minerals that exist on Earth. Magnetite has 32  $\text{O}^{2-}$  ions with a face-centered cubic spinal structure and compact packing to the center. It has stoichiometry of both divalent and ferric iron. Ferrous iron has the ability to reduce any other ferrous metal (Co, Pb, Mn, Cd). Thus, it has great potential for reducing pollution in combination with its role as a benefactor in the growth and development of plants. Magnetite nanoparticles were synthesized by various methods.

Hematite is the most stable form of iron oxide nanoparticles and has a wide range of applications. It is an n-type semiconductor that has a very low cost but very high corrosion resistance. Since hematite can be used as an initiative for the synthesis of magnetite and maghemite, it is of great importance in scientific research and technology. Hematite nanoparticles have been investigated in many studies.

Maghemite has a cubic structure caused by the dense packing of  $32\text{O}^{2-}$  ions. This is an n-type semiconductor, which is considered to be fully oxidized magnetite. X-ray diffraction shows that maghemite has a crystalline structure similar to magnetite. More details about maghemite nanoparticles can be found in many works.

### ***3.3 Getting of iron oxide nanoparticles***

Currently, there are physical and chemical methods for producing iron oxide nanoparticles, the choice of which affects the morphology of particles. Consider the coprecipitation method, hydrothermal methods, sol-gel and electrical explosion of conductors.

The coprecipitation method is the most promising method because of its simplicity and productivity. In this method, a stoichiometric mixture of iron salts in aqueous media is prepared, and the mixture is adjusted to  $\text{pH} = 9\text{--}14$  to completely precipitate  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  while maintaining the molar ratio of  $\text{Fe}^{3+}:\text{Fe}^{2+} = 2:1$  in a non-oxidizing oxygen-free medium.  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  is not very stable and can be oxidized to  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . To prevent oxidation and aggregation of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles, nitrogen is used. The size, shape, and composition of particles depend on the salts used, the ratio of  $\text{Fe}^{3+}$  and  $\text{Fe}^{2+}$ , the pH of the solution, the temperature, and the ionic strength of the support.

At the first stage, small nuclei are formed in the process of coprecipitation. When the concentration of particles reaches a critical, crystal growth follows. At a later stage, the dissolved substances diffuse to the surface of the crystal, and the process is controlled by mass transfer. In a supersaturated solution, if nuclei are formed simultaneously, the particles can have a very small size distribution after crystal growth. Therefore, the nucleation process usually must be completed in a very short time for a small particle size distribution. In addition, the number of particles is determined by the end of the nucleation process and does not change during crystal growth.

The addition of chelating organic anions (carboxylate or  $\alpha$ -hydroxycarboxylate ions such as glycolic, citric or oleic acid) or complexing surfactants of polymers (dextran, polyvinyl alcohol or starch) during the formation of magnetite nanoparticles can help control their size. The addition of organic ions can inhibit the nucleation or growth of crystals in accordance with the ratio between organic ions and iron salts, which means that they can lead to larger or smaller particles.

Although the coprecipitation method is the simplest and the most effective chemical method for producing magnetic particles, it has drawbacks, such as a large particle size distribution, aggregation, and low crystallinity, which leads to low saturation magnetization values.

In hydrothermal synthesis of magnetite nanoparticles, reactions are carried out in aqueous media in reactors or autoclaves at temperatures above 200°C, and the pressure should be higher than 1 379 Pa. Two series of iron precursors (sulfates and chlorides) were used in the synthesis process by changing the reaction temperature at a constant pH. High-resolution field-emission SEM and TEM studies have shown that the obtained iron oxide nanoparticles using iron sulfate at 130 ° C had both spherical (diameter: 42–45 nm) and rod-shaped (length: <100 nm and diameter ~ 20–25 nm) structure. At the same time, iron oxide nanoparticles synthesized at 190°C have a spherical shape with a diameter in the range from 29 to 46 nm. On the other hand, samples were prepared with iron chlorides at 130°C and 190°C containing only spherical particles with sizes 23–32 nm and 16–32 nm, respectively. In this method, the solvent, temperature, and time have a significant effect on particles. Particle size increases with increasing reaction time, as well as when the amount of water increases. Particle formation occurs in two stages: nucleation and crystal growth. At higher temperatures, the nucleation process occurs faster than crystal growth; therefore, the particle size decreases. With a longer reaction time, crystal growth dominates, therefore, larger particles are formed.

The sol-gel process is a wet chemical method based on the hydrolysis and condensation of precursors in a colloidal sol solution). Agglomerations or accumulations of colloidal or subcolloidal particles are responsible for the formation of a network. A metal oxide network (gel) is formed by removing the solvent or chemical reaction. A colloidal gel is obtained by basic catalysis, and the polymer form of the gel is formed as a result of acid catalysis. The rate of hydrolysis and condensation are very important parameters in the method, and they significantly affect the properties of the resulting particles. Lower and more controlled hydrolysis rates can produce smaller particles. Particle size also depends on the solvent, concentration, pH, and temperature.



Iron salts, such as acetates, chlorides, and nitrates, along with iron alkoxides after various polycondensation and hydrolysis reactions, act as primers for the production of iron oxide nanoparticles. According to the studies, the development of the crystalline structure of iron oxide requires continuous heating. Thus, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanorods with a size of 7.5 nm were obtained. After thermal treatment of the gel at 400°C, γ-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles with sizes from 6 to 15 nm were synthesized. Using this method, γ-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles can be coated with an inert silica matrix.

The method for electric explosion of a conductor (EEC) involves the explosive destruction of a metal wire under the action of a high-density current (10<sup>4</sup>–10<sup>6</sup> A / cm<sup>2</sup>). As a result, a mixture of superheated steam and boiling drops of an exploding wire material and a shock wave are scattered in the surrounding atmosphere. After cooling, as a rule, spherical particles are formed. An electric explosion of wires is characterized by the following features: explosion time 10<sup>-5</sup> ... 10<sup>-8</sup> s; the temperature at the time of the explosion can reach a value of more than 10<sup>4</sup> K, pressure ~ 10<sup>9</sup> Pa; the decline rate of the product from 1 to 5 km / s. Electric explosive nanopowders are characterized by high polydispersity, which depends on all explosion conditions. The advantage of EEC is the possibility of influencing the properties of particles using electrical parameters and high environmental friendliness.

EEC in inert gases or hydrogen is used for the production of powders of metals, alloys, and intermetallic compounds, in chemically active media for the production of nanopowders from chemical compounds of metals: oxides, nitrides, carbides, etc. Depending on the type of chemical composition of the working medium in the discharge chamber, nanopowders of carbides (in hydrocarbons) or oxides (in an oxygen-containing medium) can be obtained.

Researchers believe that it is advisable to produce oxide powders in a mixture of nitrogen or argon with oxygen, as ZrO<sub>2</sub>, Cu<sub>2</sub>O and CuO, γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles with a size of 20 nm were obtained, from 31.3 to 23.6 nm, 11 - 33 nm.

### ***3.4 Application of iron oxide nanoparticles***

Due to their specific properties, nanosized powders are increasingly being used as base materials for the production of ceramics and composites, filters, lubricants, and for solving environmental problems as catalysts, sorbents, etc.

Iron oxide nanoparticles are of great interest due to their relative cheapness (compared to other nanoparticles), unique properties, and catalytic activity, iron oxide nanoparticles are used in a wide range of biomedical and bioengineered applications, including sensors, magnetic storage of terabits, transfer of drugs and genes into cells, magnetic hyperthermia, for labeling cells and macromolecules, antiviral drugs, cancer treatment and magnetic resonance imaging, for preparation semiconductors. The increasing use of iron oxide nanoparticles for biomedical, bioengineering and environmental applications will inevitably lead to their further release and increase their presence in terrestrial and aquatic ecosystems with potential risks to human health and wildlife. Thus, studies aimed at understanding the environmental hazards of iron oxide nanoparticles in natural ecosystems are essential.

Iron oxide nanoparticles have been used in the biomedical field, targeted drug delivery and diagnostics, mainly due to their physicochemical properties. Although considered generally safe, with good biocompatibility, low or no toxicity, which has been reported in many studies, their potential toxic effects should not be neglected.

Iron oxide nanoparticles have been widely studied for magnetic resonance imaging (MRI), angiography, lymphography, detection of a tumor and heart attack, as was shown using the example of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  or  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  with a size of 6–15 nm.

Iron oxide nanoparticles are also used for environmental applications, for example, in soil remediation, groundwater and wastewater treatment, removal of heavy metals and degradation of organic components from water, photocatalytic processes and biosensors.

The designed iron oxide nanoparticles will become a new tool for the purification of contaminated water and soil. Compared to conventional macroscale materials, nanomaterials have a high surface to volume ratio and high reactivity. Thus,

their colloidal size can give them high mobility in porous media, and their properties allow them to be especially suitable for treating contaminated soils or aquifers. If, at present, restoration projects using iron oxide nanoparticles are focused on local pollution, a large-scale change is initiated to prevent diffuse pollution. In addition, their use in nanoagrochemistry can be developed in the coming years and will be a deliberate diffuse source of iron oxide nanoparticles in the environment. The widespread use of iron oxide nanoparticles for on-site or agricultural recovery also raises the question of their environmental compatibility.

Among engineering iron oxide nanoparticles being of interest to the environment because of their biocompatibility and safety for life, there are organisms.

Iron oxide nanoparticles are used to fabricate the anode for lithium-ion batteries and can provide high theoretical specific capacities of 1007 and 926 mAh / g, respectively, for iron oxide nanoparticles of hematite and magnetite, iron oxide nanoparticles in a carbon matrix can further increase the electrochemical properties of electrodes.

Various authors have shown the effectiveness of the application of iron oxide nanoparticles for the extraction of heavy metals from aqueous media in the purification of water and the environment. So, for  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles with a size of 15 nm coated with polyethylene glycol, the adsorption capacity with respect to Cr (VI) ions reached 83.3 mg/g, nanoparticles with  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , with a size of 15 nm coated with  $\delta\text{-FeOOH}$ , Cr (VI) adsorption capacity was determined as 25.8 mg/g,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles with a size of 15 nm, with Si, removal efficiency was 97.34% and 90% for Pb (II) and Hg (II) respectively, amino-modified  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles with a size of  $11.2 \pm 2.8$  nm, with a ligand  $-\text{NH}_2$ , the maximum adsorption capacity was 12.43 mg/g for Cu (II) ions and 11.24 mg/g for Cr (VI ions) respectively,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nanoparticles with a size of 5–25 nm, coated with poly-L cysteine, the degree of extraction of the tested metals exceeded 50%, B (III),  $22 \pm 8\%$ , Cd (II),  $71 \pm 9\%$ , Cu (II),  $60 \pm 20\%$ , Pb (II),  $67 \pm 4\%$ , Zn (II),  $50 \pm 10\%$ , even the removal efficiency of Ni (II) reached 89%, nanoparticles  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

with a size of 8-23 nm, m-PAA-Na coating, adsorption capacity for Cd (II), 5.0 mg/g<sup>-1</sup>, for Pb (II), 40.0 mg/g<sup>-1</sup>, Ni (II), 27.0 mg /g<sup>-1</sup>, and for Cu (II), 30.0 mg/g<sup>-1</sup>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles with an average size of 50-70 nm, the adsorption capacity for Ni (II) was 0,13 mg/g, nanoparticles Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> with a size of 15 nm, adsorption capacity As (V), 8 mg//g.

Nanoparticles of iron oxides can be good photocatalysts absorbing visible light, as shown in the example of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles with a size of 20 nm. In this case, the photocatalytic efficiency of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> with a size of 27.7 nm is higher than that of TiO<sub>2</sub>, can be associated with a significant generation of electron-hole pairs due to the narrow band gap.

## **4 Biological and physico-chemical properties of iron oxide nanoparticles**

### ***4.1 Stimulating biological properties***

The use of iron oxide nanoparticles has revolutionized agriculture and crop production.

Iron oxide nanoparticles help increase plant yields. For example, it is shown that the seed germination rate is increased due to the use of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles with a size of 25 nm, with concentrations of 30, 100, 500 mg / l, in relation to perennial ryegrass (*Lolium perenne L.*) and pumpkin (*Cucurbita mixta*), nanoparticles of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> or Fe (OH)<sub>3</sub> with a size of 60 ± 27 × 30 ± 12 nm, 1 ... .50 mg/l, with respect to lettuce seeds (*Lactuca sativa*). Studies demonstrate that FeO nanoparticles with a concentration of 1 mg/L nm can increase the growth of tomatoes and eggplant, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles with a size of ≥50 nm, in three concentrations: 400, 2000 and 4000 mg/L, increases germination, root length and the number of leaves rezhovidka (cutting) of tal (*Arabidopsis thaliana*), nanoparticles of γ-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and γ-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coated with citric acid, with a size of 6 nm, in concentrations from 50 to 2000 mg/l<sup>-1</sup>, the effect on growth, on the photosynthetic characteristics of soybean (*Glycine max (L.)*), nanoparticles γ-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> with a size of 17.7 ± 3.9, at concentrations of 0, 20, 50 and 100 mg /l, effect on seed germination, on chlorophyll content, on root length, on increase in germination index

and corn energy index (*Zea mays L.*), nano-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> with a concentration of 20 mg / l increase the germination of watermelon seeds and the growth of seedlings, also improve the physiological function and resistance to stressful effects of watermelon on the environment, nanoparticles magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) with a size of 10 nm, at different concentrations of 0.5 ... 20 mg/l<sup>-1</sup> effect on germination, plant growth and the content of wheat chlorophyll (*Triticum aestivum L.*).

Due to the high solubility, iron oxide nanoparticles dissolving in the soil become a source of additional iron ions, as an important macrocell for plants, which positively affects physiological and metabolic processes. For example, iron oxide nanoparticles improve the biochemical reactions of thylakoid membranes and chloroplasts, which help to improve photosynthetic activity, as was shown by the example of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles with a size of 200 nm. Various enzymatic processes that enhance the activity of chlorophyll, increasing the tolerance of plants to iron deficiency, and the use of  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles with a size of  $20.2 \pm 2.7$  nm provide a solution to this problem. Therefore, it is clear that the use of iron oxide nanoparticles enhances photosynthetic activity, while the stimulated photosynthesis rate increases plant growth and yield, as demonstrated by the example of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles with a size of 13 nm. Iron oxide nanoparticles have the potential to intrigue internal plant enzymes, and these enzymes are supporters of the skillful activity of all physiological processes.

In addition to increasing plant growth and yield, nanoparticles also play a significant role in protecting plants from various types of abiotic stresses by minimizing antioxidant enzymatic activity and removing of reactive oxygen species. Iron oxide nanoparticles help plants avoid adverse environmental conditions, such as salinization, drought, waterlogging, radiation, extreme temperatures, etc. These conditions cause the formation of reactive oxygen species, such as hydroxyl radical, hydrogen peroxide, hydroperoxy radical, superoxide -radical and singlet oxygen. A large accumulation of ROS destroys nucleic acid, proteins and lipid membranes,

stimulates genotoxicity and cytotoxicity, as was shown by the example of  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles with a size of 20-40 nm.

A foliar supply of 20-100 nm nanoparticles  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reduces the harmful effects, significantly counteracts the symptoms of drought stress, and stimulates yield parameters in *Helianthus annuus* (oilseed sunflower).

An increase in soil salinity leads to a decrease in the ability of plants to absorb water and nutrients. The use of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles with a size of 10-12 nm helps to reduce salt stress due to a significant decrease in the content of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> along with an increase in the nutritional status of plants (Zn, Fe, Mn, Mg, K, N, P), proteins, proline, carbohydrates, total chlorophyll carotenoids.

The iron content in the soil is usually high, but most of it is attached to the soil and is present in insoluble form (Fe<sup>3+</sup>), as a result of which there is a lack of available iron (Fe<sup>2+</sup>) in plants. Iron oxide nanoparticles fertilizers can be an alternative to conventional iron-containing fertilizers because iron oxide nanoparticles fertilizers can reduce stress caused by nutrient deficiency, and increase the content of chlorophyll, which enhances photosynthetic activity and plant growth. Treatment with nanoferrite fertilizers reduces the concentration of abscisic acid in plants, which stimulates plant growth and slows down aging. Fertilizers based on Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles with a size of 20-30 nm contain a unique complex.

#### ***4.2 The toxic properties of nanoparticles***

Nanoparticles can have an adverse effect on human health and the environment due to their small size, and therefore, high migration activity.

Many works have been devoted to the effect of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles coated with dextran with a size of  $31 \pm 6.58$  nm and citric acid with a size of  $38 \pm 8.14$  nm on the behavior and function of human umbilical vein endothelial cells (HUVEC). After exposure to endothelial cells by Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles, a dose-dependent effect on the viability, cytoskeleton, and function of human umbilical vein endothelial cells was determined. Particles coated with both citric acid and dextran appeared to be largely

internalized by human umbilical vein endothelial cells (HUVEC) through endocytosis and contribute to possible cell death, possibly as a result of apoptosis. The structures of the cytoskeleton were severely destroyed, as evidenced by reduced vinculin spots and disorganized actin fibers and tubulin networks. The ability of exposure to  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles leads to a dose-dependent decrease in the viability of human umbilical vein endothelial cells (HUVEC) and inhibits their matrigel differentiation and migration / invasion of stimulus factors. Cell migration / invasion was significantly inhibited even at very low iron concentrations (0.1 mM). The results of this study indicate the great importance of a deep understanding of the interaction of nanoparticles with cells and the possibility of using this understanding in applications for the treatment of tumors in which  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles are used as thermal / chemoembolization agents.

The toxicity of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles in the Au complex with a size of 20–35 is represented by highly biocompatible and safe nanoparticles in accordance with the assessment of toxicity in vivo and in vitro. Nanoparticles  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  with  $10.0 \pm 2.5$  nm size in concentrations of 0.1, 1, 10 mg/l; various reactions of metabolic activity of soil soil microbes of plants winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and spring corn (*Zea mays* L.).

#### ***4.3 Aggregation and dissolution of nanoparticles***

Iron oxide nanoparticles are found in soil and water and play a critical role in the chemical dynamics caused by changes in the state of the environment, since nanominerals have a high reactivity. Under natural conditions, only a small fraction of technogenic nanoparticles of iron oxide is preserved in its original form. Biotransformation, oxidation / reduction, dissolution, precipitation, sorption, and photochemical transformation can occur among other biogeochemical processes. In turn, this transformation can affect the aggregation, mobility, biocommunication, absorption and fate of iron oxide in the environment, as well as their impact on the environment.

Aggregation - is a spontaneous process of decreasing the degree of dispersion of a dispersed phase (i.e., combining particles into larger aggregates). Particle aggregation can be homogeneous (coagulation of particles of the same type) and heterogeneous (interaction of particles of different structures and different phases). The tendency of nanoparticles to aggregate during oxidative corrosion to Fe (III) oxide / hydroxide limits the efficient transport and delivery of nanoparticles through a porous medium, which is usually necessary to purify groundwater in situ, and aggregation will reduce the specific surface area, which, in turn, will affect its reactivity. It was shown that iron oxide nanoparticles can react with various functional groups from the surrounding solution, which inhibits their aggregation, as shown by the example of  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles with a size of 11 nm in a solution of oleic acid, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ( $8.8 \pm 2.7$  nm) in solution with triblock copolymers, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (100 nm) in a solution coated with gum arabic (GA) is endowed with affinity properties for immunoglobulin G (IgG) molecules, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (5-10 nm) in a solution of polyethylene terephthalate. The stability of nanoparticles Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> and  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, with a size of 50-100 nm, can be significantly increased by modification using phosphonic, carboxylic, and amino acids, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles with a size of 10–15 nm in a solution containing polyacrylic acid and  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles with a size of 75 nm in a solution with an alginate coating.

Aggregation and stabilization have a significant impact on the transfer to the environment, the reactivity and the fate of the released nanoparticles, and especially on the transfer of pollutants with low solubility in groundwater.

Iron oxide nanoparticles commonly encountered soil and groundwater conditions (i.e., pH 6–8 and high ionic strength) can cause extensive aggregation and, thus, can significantly reduce their mobility and reactivity after injection into underground environments. Many works considered the characteristics and aggregation behavior of  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles, an average particle size of 30 nm, under appropriate environmental conditions (i.e. pH, particle concentration, and ionic strength). In nanoparticles of  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> with a size of 1.6 nm and 2.7 nm, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> with a



size of 100 nm or more,  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and their morphology, surface chemistry, environmental stability, which are usually found in water and soils, were examined and deposits.

Research reviewed the interaction of natural organic matter (standard humic acid in the Suvanni River [SRHA]) and FeO nanoparticles with a size of  $6.9 \pm 3.85$  nm, depending on different concentrations of SRHA and pH conditions. Natural Organic Matter is one of the main components of natural colloids, with humic substances ranging from 50 to 80%. At low pH, approximately 35% of all iron was in the dissolved phase (<1 kDa) present in the initial synthesis, whereas at pH greater than 4 this concentration was insignificant due to the formation of new particles as a result of hydrolysis.

### ***5 Setting goals and objectives of the study***

A literature review has shown that iron oxide nanoparticles having a set of unique properties are very popular, can be produced by different methods and have great prospects for the development of various industries, medicine and agriculture. At the same time, the rapid growth of production and consumption of nanoparticles contributes to an increase in the number of sources of nanoparticle release into the environment. Despite the fact that there are no data on the chronic toxicity of nanomaterials in the literature, anthropogenic nanoparticles are unambiguously considered by specialists as pollutants characterized by high toxicity to humans and natural biology in general. It has also been shown that when it enters the biological environment, iron oxide nanoparticles can exert both a stimulating and toxic effect on living organisms and plants. Moreover, among all the parameters of nanoparticles, particle size is a key factor in assessing their impact in nano (eco) toxicology, and there is still insufficient data on the effect of particle size on their biological properties for iron oxide nanoparticles.

***Purpose of graduation qualification work*** is the determination of the influence of the concentration and size of iron oxide nanoparticles on the morphometric properties of wheat seedlings.

To achieve this goal, the following tasks were set:

1) to conduct a literary review including the preparation, use, biological and physicochemical properties of iron oxide nanoparticles;

2) to determine the phase composition, morphology and size of the iron oxide nanopowders using x-ray phase analysis, electron microscopy and the method of low-temperature nitrogen adsorption;

3) to determine the effect of size and ultrasonic treatment on the dispersion and electrokinetic properties of iron oxide nanoparticles by laser diffraction and dynamic light scattering methods;

4) to determine the effect of size and concentration, as well as ultrasonic treatment of iron oxide nanoparticles on the morphometric properties of wheat seedlings.